



TUGAS AKHIR - SM 141501

PENGUKURAN DIMENSI RETAKAN PADA CITRA JALAN MENGGUNAKAN FILTER *GABOR*

JULI NUR ANITA
NRP 06111440000025

Dosen Pembimbing
Dr. Dwi Ratna Sulistyaningrum, S.Si, MT

DEPARTEMEN MATEMATIKA
Fakultas Matematika, Komputasi dan Sains Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - SM141501

PENGUKURAN DIMENSI RETAKAN PADA CITRA JALAN MENGGUNAKAN FILTER *GABOR*

JULI NUR ANITA
NRP 06111440000025

Dosen Pembimbing
Dr. Dwi Ratna Sulistyaningrum, S.Si, MT

DEPARTEMEN MATEMATIKA
Fakultas Matematika, Komputasi dan Sains Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - SM141501

CRACK DIMENSION MEASUREMENT ON ROAD IMAGES USING GABOR FILTER

JULI NUR ANITA
NRP 06111440000025

Supervisor
Dr. Dwi Ratna Sulistyaningrum, S.Si, MT

DEPARTMENT OF MATHEMATICS
Faculty of Mathematics, Computation and Data Science
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENGUKURAN DIMENSI RETAKAN PADA CITRA JALAN MENGGUNAKAN FILTER GABOR

CRACK DIMENSION MEASUREMENT ON ROAD IMAGES USING GABOR FILTER

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Pada bidang studi Ilmu Komputer
Program Studi S-1 Departemen Matematika
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :
JULI NUR ANITA
NRP. 06111440000025


Menyetujui,
Dosen Pembimbing,



Dr. Dwi Ratna Sulistyaningrum, S.Si, MT
NIP. 19690405 199403 2 003

Mengetahui,

Ketua Departemen Matematika
FMKSD ITS



Dr. Imam Mukhlash, S.Si, MT
NIP. 19700831 199403 1 003
Surabaya, Agustus 2018.

PENGUKURAN DIMENSI RETAKAN PADA CITRA JALAN MENGUNAKAN FILTER *GABOR*

Nama : Juli Nur Anita
NRP : 06111440000025
Departemen : Matematika
Dosen Pembimbing : Dr. Dwi Ratna Sulistyaningrum,
S.Si, MT

ABSTRAK

Retakan merupakan salah satu jenis kerusakan yang paling sering ditemukan di jalan raya. Informasi dimensi atau ukuran retakan sangat diperlukan dalam proses pemeliharaan dan perbaikan jalan. Pengukuran dimensi retakan dapat dilakukan dengan pengolahan citra digital. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengukuran dimensi retakan jalan adalah filter *Gabor*. Pada Tugas Akhir ini dilakukan pengukuran dimensi retakan secara otomatis pada citra jalan beraspal dengan menerapkan filter *Gabor* berbasis pengolahan citra digital. Hasil uji coba pada 15 citra retakan menunjukkan bahwa penggunaan nilai $\lambda = 2$ dan $bandwidth = 3$ dapat menghasilkan segmentasi citra retakan secara menyeluruh. Sedangkan pada penggunaan nilai $\lambda = 3, 4$ dan $bandwidth = 2, 4, 5$ citra retakan yang tersegmentasi hanya sebagian. Hasil uji coba juga menunjukkan bahwa akurasi sistem mencapai 95,191% untuk pengukuran panjang area retakan dan 87,935% untuk pengukuran lebar area retakan.

Kata Kunci : retakan jalan, segmentasi citra, pengukuran dimensi retakan, pengolahan citra digital, filter *Gabor*

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

CRACK DIMENSION MEASUREMENT ON ROAD IMAGES USING GABOR FILTER

Name of Student : Juli Nur Anita
NRP : 06111440000025
Department : Mathematics
Supervisor : Dr. Dwi Ratna Sulistyaningrum,
S.Si, MT

ABSTRACT

Cracks are one of the types of damage most commonly found on the highway. Information on dimensions or size of cracks is needed in the process of road maintenance and repair. Fault dimension measurement can be done by digital image processing. One method that can be used to measure the dimensions of road cracks is the Gabor filter. In this Final Project, the dimensions of cracks are automatically measured on paved road images by applying Gabor filters based on digital image processing. The results of trials on 15 crack images show that the use of values $\lambda = 2$ and bandwidth = 3 can produce a crack image segmentation as a whole. Whereas the use of values $\lambda = 3,4$ and bandwidth = 2,4,5 images of segmented cracks are only partially. The results of the trial also showed that the accuracy of the system reached 95.191% for the measurement of the crack area length and 87.935% for the width of the crack area.

Keyword : road crack, image segmentation, crack dimension measurement, digital image processing, Gabor filter

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillahirobbilalamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengukuran Dimensi Retakan Pada Citra Jalan Menggunakan Filter Gabor”** yang merupakan salah satu persyaratan akademis dalam menyelesaikan Program Sarjana Departemen Matematika, Fakultas Matematika, Komputasi dan Sains Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik berkat kerja sama, bantuan, dan dukungan dari banyak pihak. Sehubungan dengan hal itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Dr. Imam Mukhlash, S.Si., M.Si selaku Kepala Departemen Matematika ITS yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama perkuliahan hingga selesainya Tugas Akhir ini.
2. Dr. Dwi Ratna Sulistyaningrum, S.Si, MT selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi kepada penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini sehingga dapat selesai dengan baik.
3. Drs. Soetrisno, MI.Komp, Drs. I Gst Ngr Rai Usadha, M.Si, dan Muhammad Luthfi Shahab, S.Si, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan saran demi perbaikan Tugas Akhir.
4. Drs. Sentot Didik Surjanto, M.Si selaku Dosen Wali yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama perkuliahan hingga selesainya Tugas Akhir ini.
5. Seluruh jajaran dosen dan staf jurusan Matematika ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

6. Bapak, Ibu, Bagus dan seluruh keluarga penulis yang tidak hentinya memberikan dukungan secara moral dan materiil serta doa untuk kesuksesan penulis
7. Teman-teman Matematika ITS 2014 yang telah memberikan banyak cerita selama kuliah.
8. Banyak pihak yang tidak dapat ditulis satu persatu oleh penulis yang telah membantu selama penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.
Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Agustus 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
<i>TITLE PAGE</i>	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Retakan Jalan	9
2.3 Citra Digital	11
2.4 <i>Preprocessing</i>	13
2.5 Segmentasi Citra menggunakan <i>Filter Gabor</i>	15
2.6 Konvolusi	18
2.7 ℓ_2 -Norm	19
2.8 Matematika Morfologi	19
2.9 <i>Connected Component Labeling</i>	25

2.10	Pemilihan Objek Retakan Berdasarkan Bentuk dan Ukuran Objek	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Objek dan Aspek Penelitian	29
3.2	Peralatan	29
3.3	Data Penelitian	29
3.4	Tahap Penelitian	30
BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM		
4.1	Perancangan Data	35
4.2	Perancangan Proses Secara Umum	36
4.3	Pra-pemrosesan Citra (<i>Preprocessing</i>)	37
4.4	Proses Segmentasi Citra	38
4.4.1	Proses Filterisasi	39
4.5	Proses Pemilihan Objek Retakan Berdasarkan Bentuk dan Ukuran Objek	42
4.6	Implementasi Sistem	44
4.6.1	Implementasi Antarmuka (<i>Interface</i>)	44
4.6.2	Implementasi Tahap <i>Preprocessing</i>	45
4.6.3	Implementasi Tahap Segmentasi Citra	46
4.6.4	Implementasi Pemilihan Objek Retakan dan Pengukuran Dimensi Retakan	48
BAB V UJI COBA DAN PEMBAHASAN		
5.1	Pengujian Tahap Akuisisi Data	51
5.2	Pengujian Tahap <i>Preprocessing</i>	52
5.3	Pengujian Tahap Segmentasi Citra	53
5.4	Pengujian Pengukuran Dimensi Retakan	61
BAB VI PENUTUP		
6.1	Kesimpulan	65
6.2	Saran	65

DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	71
BIODATA PENULIS	81

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Data Proses.....	35
Tabel 5.1 Hasil Segmentasi Citra dengan Nilai Parameter Berbeda	57
Tabel 5.2 Hasil Segmentasi dengan Nilai $\lambda = 2$ dan $bandwidth(b) = 3$	58
Tabel 5.3 Hasil Pengukuran Panjang Area Retakan.....	63
Tabel 5.4 Hasil Pengukuran Lebar Area Retakan	64

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Jenis-jenis Retakan Pada Permukaan Jalan ...	10
Gambar 2.2 Ilustrasi Citra Biner	12
Gambar 2.3 Ilustrasi Citra <i>Grayscale</i>	12
Gambar 2.4 Ilustrasi Citra RGB	13
Gambar 2.5 Contoh Hasil Filter <i>Gabor</i> dengan 5 Frekuensi dan 8 Orientasi.....	17
Gambar 2.6 Ilustrasi Proses Erosi A oleh Struktur Elemen B	21
Gambar 2.7 Ilustrasi Proses Dilasi A oleh Struktur Elemen B	22
Gambar 2.8 Ilustrasi Proses <i>Opening</i> A oleh Struktur Elemen B	23
Gambar 2.9 Ilustrasi Proses <i>Closing</i> A oleh Struktur Elemen B	24
Gambar 2.10 Ilustrasi Proses Operasi ‘bridge’	24
Gambar 2.11 Piksel <i>4-connected</i>	25
Gambar 2.12 Piksel <i>8-connected</i>	26
Gambar 2.13 Ilustrasi Proses <i>Connected Component</i> <i>Labeling</i>	26
Gambar 2.14 Ilustrasi Grafik Elips.....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahap Penelitian.....	30
Gambar 3.2 Diagram Alir Algoritma Sistem	32
Gambar 4.1 Diagram Alir Proses <i>Preprocessing</i>	37
Gambar 4.2 Diagram Alir Proses Segmentasi	39
Gambar 4.3 Proses <i>Labeling</i> dan Seleksi Objek Retakan.....	43

Gambar 4.4	Ilustrasi Penentuan <i>Major Axis Length</i> sebagai panjang objek dan <i>Minor Axis Length</i> sebagai lebar objek	44
Gambar 4.5	Tampilan Antarmuka Pengukuran Dimensi Retakan	45
Gambar 5.1	Citra Hasil Akuisisi dari Tiga Jenis Retakan yang Berbeda.....	51
Gambar 5.2	Citra pada Tahap <i>Preprocessing</i>	53
Gambar 5.3	Citra Hasil Filterisasi dengan Orientasi Berbeda.....	54
Gambar 5.4	Proses Perubahan Citra Terfilter menjadi Citra Biner	54
Gambar 5.5	Proses <i>Labeling</i> dan Seleksi Objek Retakan.....	55
Gambar 5.6	Citra biner dan citra hasil segmentasi dengan nilai $\lambda = 2$ dan <i>bandwidth</i> = 2	56
Gambar 5.7	Citra biner dan citra hasil segmentasi dengan nilai $\lambda = 3$ dan <i>bandwidth</i> = 2	56
Gambar 5.8	Citra biner dan citra hasil segmentasi dengan nilai $\lambda = 3$ dan <i>bandwidth</i> = 2	57
Gambar 5.9	Contoh Hasil Segmentasi pada Citra Retakan Utuh.....	60
Gambar 5.10	Contoh Pengukuran dengan Pendekatan Elips	61
Gambar 5.11	Contoh Pengukuran dengan Pendekatan Elips pada Jenis Retakan Blok	62

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN	71
1. Kode Program Akuisisi Data	71
2. Kode Program <i>Preprocessing</i>	71
3. Kode Program Fungsi Normalisasi	71
4. Kode Program Pembentukan Filter <i>Gabor</i>	72
5. Kode Program Proses Filterisasi	73
6. Kode Program Proses Morfologi Citra dan Pemilihan Objek Retakan	74
7. Kode Program Pengukuran dan Visualisasi Elips pada Area Retakan	74
8. Data Citra Retakan dan Citra <i>Groundtruth</i>	76

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan hal-hal yang melatarbelakangi munculnya permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini. Kemudian permasalahan tersebut disusun kedalam suatu rumusan masalah. Selanjutnya dijabarkan juga batasan masalah untuk mendapatkan tujuan yang diinginkan serta manfaat yang diperoleh.

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu prasarana yang dapat menghubungkan daerah satu dengan daerah yang lain. Berbagai aktivitas masyarakat dipengaruhi oleh kondisi jalan. Tingginya aktivitas masyarakat akan berbanding lurus dengan tingginya beban lalu lintas. Beban lalu lintas yang tinggi akan meningkatkan beban jalan, dan menyebabkan kerusakan perkerasan jalan. Kerusakan jalan raya dapat menyebabkan ketidaknyamanan serta mengancam keselamatan pengguna jalan.

Penyebab timbulnya kerusakan jalan, bisa bermula dari retakan-retakan kecil yang muncul pada permukaan jalan. Seiring berjalannya waktu retakan-retakan tersebut dapat menjadi lubang-lubang besar yang disebabkan oleh faktor-faktor tertentu, seperti pengaruh cuaca dan banyaknya kendaraan yang memuat beban berat melewati jalan tersebut[2]. Untuk itu, perlu dilakukan pemeriksaan kondisi jalan raya sebagai salah satu upaya untuk menjaga keamanan dan kenyamanan pengguna jalan. Pengukuran kerusakan jalan merupakan salah satu langkah penting untuk melakukan pemeriksaan kondisi jalan raya. Pemeriksaan dilakukan untuk merencanakan proses pemeliharaan jalan yang efektif dan untuk keberlanjutan kondisi jalan raya yang lebih baik. Dalam proses perbaikan dan pemeliharaan jalan terdapat beberapa hal penting yang perlu diperhatikan agar proses

yang dilakukan efektif. Beberapa diantaranya adalah jenis kerusakan seperti lubang atau retakan, tingkat kerusakan, lokasi, lebar, panjang, luas, dan mungkin juga kedalaman dari kerusakan jalan[1].

Retakan merupakan salah satu jenis kerusakan yang paling sering ditemui pada permukaan jalan. Terdapat berbagai macam retakan jalan mulai dari retakan tunggal (retak *longitudinal* dan *transversal*) hingga retakan yang saling terkait dan tersebar pada permukaan jalan (retakan balok dan retakan buaya)[4]. Pada proses pemeriksaan kondisi jalan, perlu dilakukan pengukuran dimensi retakan jalan. Dimensi dapat diartikan sebagai ukuran seperti panjang, tinggi, lebar, luas dan sebagainya. Dimensi yang terdapat pada retakan dapat berupa panjang atau lebar retakan. Pada jenis retakan tunggal (retak *longitudinal*, retak *transversal*, dan retak diagonal) informasi yang diperlukan adalah panjang dari retakan. Sedangkan pada jenis retakan balok maupun retakan buaya, informasi yang diperlukan adalah panjang dan lebar retakan.

Pemeriksaan kondisi jalan sebelumnya dilakukan secara konvensional menggunakan tenaga manusia dengan memeriksa langsung kondisi di jalan raya. Namun, seiring berkembangnya teknologi, tenaga manusia telah digantikan dengan pengumpulan data secara otomatis menggunakan beberapa data citra yang dapat diolah dengan algoritma tertentu. Pada beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan pengukuran dimensi kerusakan jalan raya dengan berbagai metode dan menggunakan berbagai jenis gambar. Beberapa metode yang pernah dilakukan diantaranya yaitu transformasi wavelet 2D [9,10]. Transformasi wavelet 2D meningkatkan atau memperjelas retakan namun juga meningkatkan *noise*. Lee Bang Yeon, dkk. melakukan penelitian mengenai pengukuran panjang, lebar, dan arah retakan otomatis menggunakan metode morfologi citra[20].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk segmentasi retakan pada citra dua dimensi adalah filter Gabor. Filter *Gabor* pernah digunakan untuk deteksi dan klasifikasi kecacatan pada permukaan logam[21] serta deteksi kecacatan pada pelat baja[22]. Selain itu Filter *Gabor* juga pernah digunakan untuk deteksi kecacatan pada selongsong peluru[3]. Sehingga Filter Gabor menjadi metode yang sangat potensial untuk deteksi retak multidireksional yang sebelumnya tidak dilakukan dengan menggunakan filter *Gabor*[4].

Oleh karena itu, pada Tugas Akhir ini dilakukan proses pengukuran dimensi retakan secara otomatis pada citra jalan beraspal dengan menerapkan filter *Gabor* berbasis citra digital.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana melakukan pengukuran dimensi area retakan yang terdapat pada citra jalan menggunakan filter *Gabor*?
2. Bagaimana tingkat akurasi filter *Gabor* untuk pengukuran dimensi area retakan pada citra jalan?

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup pembahasan permasalahan pada Tugas Akhir ini maka ditentukan beberapa batasan sebagai berikut :

1. Citra yang diamati adalah citra jalan beraspal yang memiliki retakan.
2. Data citra jalan yang digunakan diambil dari dataset penelitian yang dilakukan oleh Yong Shi, dkk. Pada tahun 2015 dan 2016[11,12] .
3. Jenis retakan yang diamati yaitu retak *longitudinal*, retak *transversal*, dan retak diagonal.

4. Perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan simulasi adalah Matlab.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, didapat tujuan dari Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Melakukan pengukuran dimensi area retakan yang terdapat pada citra jalan menggunakan filter *Gabor*.
2. Mengetahui tingkat akurasi filter *Gabor* untuk pengukuran dimensi area retakan pada citra jalan.

1.5 Manfaat

Manfaat yang bisa diperoleh dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Didapatkan algoritma pengukuran dimensi area retakan pada citra jalan menggunakan filter *Gabor*.
2. Pengukuran dimensi area retakan yang dilakukan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam mengoptimalkan proses pemeliharaan dan perbaikan jalan.

1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Sistematika penulisan dalam laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang gambaran umum dari penulisan Tugas Akhir yang meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat dari penelitian yang dilakukan, serta sistematika penulisan Tugas Akhir.

2. BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori dasar yang mendukung dan digunakan penulis dalam Tugas Akhir ini, antara lain Pengertian Citra Digital, Retakan, *Preprocessing*, Konvolusi, Segmentasi Citra menggunakan Filter *Gabor*, Morfologi Citra dan Pengukuran Dimensi Retakan.

3. **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan tahap pengerjaan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini sehingga penelitian dapat dirancang secara sistematis dan diatur sebaik-baiknya.

4. **BAB IV : PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM**

Bab ini menjelaskan tahap persiapan pengolahan data dan penentuan parameter dalam metode yang digunakan sebagai acuan dalam implementasi sistem. Bab ini juga membahas proses untuk implementasi dengan menggunakan pemrograman Matlab berdasarkan perancangan sistem yang telah dibuat sebelumnya.

5. **BAB V : PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN HASIL**

Bab ini membahas tentang pengujian sistem yang telah terimplementasi dengan melakukan proses verifikasi dan validasi beserta pengujian kinerja dari sistem yang telah dibuat.

6. **BAB VI : PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan Tugas Akhir yang diperoleh dari bab pengujian dan pembahasan hasil serta untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan mengenai tinjauan pustaka yang terdiri dari penelitian terdahulu dan dasar teori yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir. Dasar teori yang dijelaskan dibagi menjadi beberapa sub bab yaitu retakan jalan, Citra Digital, *preprocessing* (pra-pemrosesan), konvolusi, segmentasi citra menggunakan filter *Gabor*, morfologi citra serta pengukuran dimensi retakan.

2.1 Penelitian Terdahulu

Salah satu penelitian mengenai deteksi retak pada permukaan jalan raya yang pernah dilakukan yaitu deteksi retak dengan menggunakan kombinasi thresholding, Median filter dan morphological closing. Kombinasi metode yang digunakan tersebut dapat mendeteksi keberadaan retak dengan akurasi 85% dan kecepatan proses 4,25 detik per citra[5].

Pada penelitian [9] dilakukan segmentasi citra jalan dengan thresholding melalui skala berbeda menggunakan transformasi wavelet 2D yang kontinu. Transformasi wavelet 2D meningkatkan atau memperjelas retakan namun juga meningkatkan noise. Metode thresholding memiliki keterbatasan karena tidak dapat membedakan piksel gelap tekstur bebas cacat dari piksel retak. Transformasi wavelet juga digunakan pada penelitian [10] yang melakukan deteksi pada jenis retakan longitudinal, transversal, diagonal, blok (acak) dan buaya (alligator). Hasil validasi menunjukkan bahwa retakan linier dapat diekstraksi dengan tingkat deteksi rata-rata 83,2%.

Yong Shi dan kawan-kawan [11] melakukan penelitian mengenai deteksi retakan otomatis menggunakan metode *random structured forest*. Metode tersebut menghasilkan detektor retak berkinerja tinggi, yang dapat mengidentifikasi

jenis retakan yang rumit. Selain itu, dalam penelitian tersebut juga diusulkan deskriptor retakan baru untuk mengkarakterisasi retakan dan membedakannya dari noise secara efektif.

Selain metode yang telah disebutkan, Filter Gabor juga merupakan metode yang sangat potensial untuk melakukan deteksi retak multidireksional[1]. Filter Gabor pernah digunakan untuk pengenalan otomatis dan klasifikasi pola visual, seperti pengenalan wajah[14]. Kemudian N. Petkov dan P. Kruizinga melakukan pengembangan parameter pada fungsi filter *Gabor* yang digunakan pada penelitian tersebut[15]. Fungsi filter *Gabor* yang telah dikembangkan tersebut kemudian diterapkan pada objek penelitian yang berbeda, seperti pemisahan tekstur dan informasi bentuk[16,17] dan deteksi kontur[18,19].

Filter Gabor juga digunakan sebagai ekstraksi fitur citra dalam deteksi cacat pada selongsong peluru. Pengujian dilakukan terhadap 36 sampel citra peluru yang terdiri dari 18 citra peluru baik dan 18 citra peluru cacat. Setiap citra uji dicocokkan terhadap citra referensi menggunakan metode Hamming Distance. Hasil pengujian terbaik menunjukkan tingkat keberhasilan mengidentifikasi cacat peluru mencapai 100% menggunakan citra dengan filter Gabor masing-masing berukuran 64x64 dan 17x17 dengan nilai threshold 0,09 dan 0,10[3].

Lee Bang Yeon dan kawan-kawan melakukan penelitian deteksi dan analisis retakan pada permukaan beton. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran lebar, panjang, dan arah retakan dengan menerapkan teknik morfologi untuk koreksi bayangan. Proses binerisasi dan analisis bentuk ditingkatkan untuk pendeteksian yang lebih baik. Kemudian dilakukan perbandingan pengukuran menggunakan teknik yang diusulkan dengan teknik konvensional untuk memvalidasi algoritma yang diusulkan dan teknik keseluruhan[20].

2.2 Retakan Jalan

Retakan merupakan salah satu jenis kerusakan yang paling sering ditemui pada permukaan jalan. Terdapat berbagai macam retakan jalan, beberapa diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Retak *Longitudinal*
Retak longitudinal terjadi sejajar dengan garis tengah jalan. Mereka bias disebabkan oleh: proses pengaspalan jalan yang tidak baik; penyusutan lapisan aspal.
- b. Retak *Transversal*
Retak transversal terjadi kira-kira tegak lurus terhadap garis tengah jalan. Retakan ini bias disebabkan oleh penyusutan lapisan aspal atau refleksi dari celah yang ada.
- c. Retak *Diagonal*
Retak diagonal terbentuk karena adanya penyusutan pada lapisan aspal atau beban berlebihan yang melewati jalan tersebut.
- d. Retak Blok
Retak blok merupakan serangkaian retakan yang membentuk persegi panjang pada permukaan jalan beraspal. Retak ini biasanya mencakup area yang luas, dan disebabkan oleh penyusutan lapisan aspal karena siklus suhu.
- e. Retak *Alligator*
Retak ini disebut retak alligator atau retak kulit buaya karena retakan yang terbentuk saling berhubungan menyerupai kulit buaya atau kulit alligator. Retakan ini disebabkan oleh beban berlebihan yang sering melalui jalan tersebut.



(a)



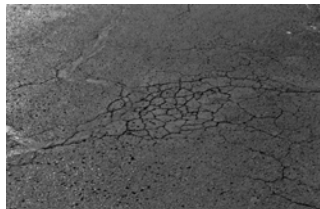
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 2.1. Jenis-jenis retakan pada permukaan jalan: (a) Retak Longitudinal (b) Retak Transversal (c) Retak Diagonal (d) Retak Blok (e) Retak *Alligator*

Penyebab dari timbulnya kerusakan jalan, bisa bermula dari retakan-retakan kecil yang muncul pada permukaan jalan. Seiring berjalannya waktu retakan-retakan tersebut dapat menjadi lubang-lubang besar yang disebabkan oleh faktor-faktor tertentu, seperti pengaruh cuaca dan banyaknya kendaraan yang memuat beban berat melewati jalan tersebut.

Pada proses pengukuran retakan jalan secara manual permukaan jalan dibagi menurut kotak-kotak berukuran $0,5\text{m} \times 0,5\text{m}$ dan sketsa dari kondisi retak-retak dibuat untuk setiap lajur lalu-lintas. Retak dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Retak} = \frac{C \text{ (cm)}}{A \text{ (m}^2\text{)}} \quad (2.1)$$

C = jumlah panjang retak (cm)

A = total luas daerah penelitian (m^2)

Berdasarkan rumusan tersebut, informasi yang diperlukan untuk pengukuran kerusakan jenis retak adalah panjang retakan.

2.3 Citra Digital

Citra digital merupakan hasil dari digitalisasi citra kontinu menjadi diskrit. Citra digital juga dapat dinyatakan sebagai suatu fungsi dua dimensi $f(x,y)$, dengan x maupun y adalah posisi koordinat sedangkan f merupakan amplitude pada posisi (x,y) yang sering dikenal sebagai intensitas warna.

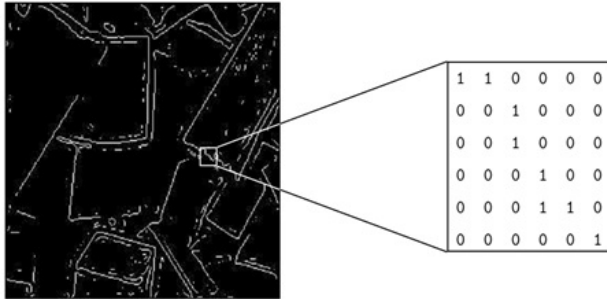
Citra digital dapat disajikan dalam bentuk sebuah matriks dengan dimensi $M \times N$ dimana masing-masing elemen matriks tersebut mewakili nilai intensitas keabuan dari sebuah citra. Representasi citra dalam bentuk matriks ditunjukkan dengan persamaan (2.2)[8]:

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Intensitas keabuan dalam sebuah citra sering disebut dengan istilah piksel. Terdapat tiga jenis citra dengan nilai piksel yang berbeda yaitu:

a. Citra Biner

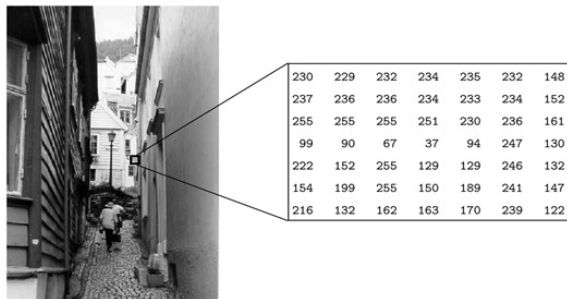
Citra biner mempunyai intensitas keabuan hanya 0 dan 1 saja. Citra biner biasa ditemukan pada proses segmentasi objek, thresholding, ataupun pengolahan citra digital dengan matematika morfologi[7].



Gambar 2.2. Ilustrasi Citra Biner

b. Citra *Grayscale*

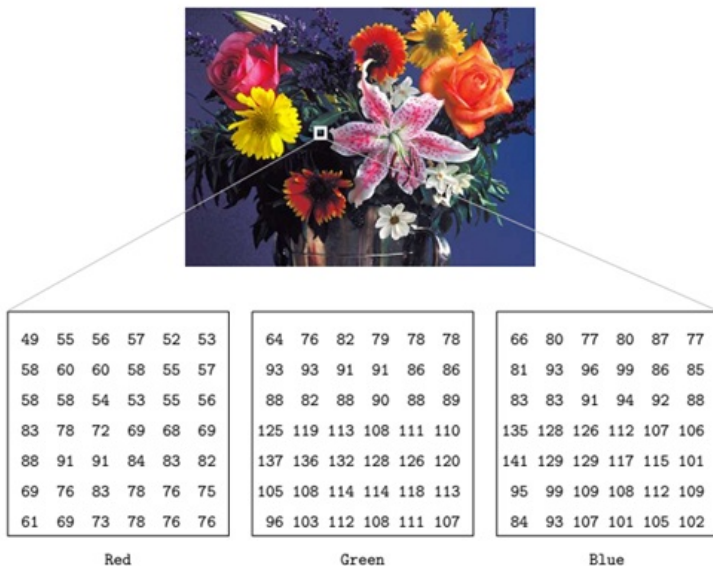
Citra grayscale mempunyai intensitas keabuan dengan rentang 0-255. Citra grayscale hanya terdiri dari satu kanal saja pada setiap pikselnya dengan kedalaman warna sebesar 8 bit (256 kombinasi warna keabuan)[7].



Gambar 2.3. Ilustrasi Citra *Grayscale*

c. Citra RGB

Citra RGB mempunyai intensitas keabuan dengan variasi warna yang paling tinggi. Setiap piksel diisi oleh 3 kanal warna, sehingga menghasilkan warna yang beragam. Citra RGB dengan ukuran 8 bit mempunyai 256 ($8 \times 8 \times 4$) variasi warna; 16 bit memiliki 4.096 ($16 \times 16 \times 16$) variasi warna; dan 24 bit memiliki 16.777.216 ($256 \times 256 \times 256$) variasi warna[7].



Gambar 2.4. Ilustrasi Citra RGB

2.4 Preprocessing

Pra-pengolahan (*preprocessing*) pada pengolahan citra digital bertujuan untuk memperbaiki citra dengan cara memanipulasi parameter citra agar mendapatkan kualitas citra yang lebih baik. Prapemrosesan citra adalah mengolah citra masukan dengan meningkatkan kualitas penampakan

atau menonjolkan beberapa aspek informasi yang terkandung dalam citra dengan perbaikan atau modifikasi tertentu.

Di dalam tahap pra-pemrosesan terdapat beberapa proses sebagai berikut:

- a. *Scalling*, merupakan proses yang bertujuan untuk mengubah ukuran piksel citra asli menjadi citra yang berukuran baru, baik berukuran lebih besar atau berukuran lebih kecil. Hal ini dilakukan karena setiap citra yang diolah belum tentu memiliki ukuran yang sama. *Scalling* juga digunakan untuk memperkecil citra digital agar jumlah piksel yang akan diolah tidak terlalu banyak.
- b. *Grayscale*, dilakukan dengan mengubah citra RGB ke grayscale, segmentasi dan perhitungan orientasi. Rumusan untuk proses *grayscale* adalah $Y = \alpha.R + \beta.G + \gamma.B$ dengan nilai $\alpha = 0.299$, $\beta = 0.587$ dan $\gamma = 0.114$. Nilai-nilai tersebut biasa digunakan pada standar gambar berwarna dan perhitungan intensitas dan derajat penerangan (*brightness*).
- c. Proses normalisasi, bertujuan untuk mengurangi kesalahan akibat ketidakseragaman pencahayaan pada saat pengambilan citra. Metode normalisasi pada penelitian [3] dapat dijelaskan pada persamaan:

$$N(x, y) = \begin{cases} M_0 + \rho & \text{jika } I(x, y) > M \\ M_0 - \rho & \text{jika } I(x, y) \leq M \end{cases} \quad (2.3)$$

dengan,

$$\rho = \sqrt{\frac{V_0\{I(x, y) - M\}^2}{V}}$$

$I(x, y)$ dan $N(x, y)$ berturut-turut menyatakan citra *grayscale* dan citra hasil normalisasi, M dan V menyatakan nilai mean dan varians dari citra

asli, sementara M_0 dan V_0 merupakan nilai mean dan varians yang diharapkan.

2.5 Segmentasi Citra menggunakan *Filter Gabor*

Segmentasi citra adalah proses pemisahan salah satu bagian pada citra, misalnya pemisahan antara citra objek dengan background. Pemisahan objek dan background citra dilakukan dengan memanfaatkan histogram warna yang digunakan pada citra tersebut. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk segmentasi citra yaitu menggunakan filter Gabor.

Fungsi Gabor pertama kali diperkenalkan oleh Denis Gabor pada tahun 1946 sebagai tools untuk deteksi sinyal dalam noise. Daugman mengembangkan kerja Gabor ke dalam filter dua dimensi pada tahun 1985[13]. Filter Gabor adalah filter linier yang digunakan dalam pengekstraksian fitur citra sebagai detektor ciri. Filter Gabor dikenal sebagai detektor ciri yang sukses karena memiliki kemampuan menghilangkan variabilitas yang disebabkan oleh pencahayaan kontras dan sedikit pergeseran serta deformasi citra.

Bentuk umum persamaan berdasarkan penelitian Daugman filter Gabor 2D dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$G(\lambda, \theta, \varphi, \sigma, \gamma, x, y) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \varphi\right) \quad (2.4)$$

dengan,

$$\begin{aligned} x' &= x \cos\theta + y \sin\theta \\ y' &= -x \sin\theta + y \cos\theta \end{aligned}$$

Parameter yang digunakan dalam fungsi *Gabor* adalah sebagai berikut:

- (x, y) , merupakan posisi piksel pada citra.
- λ , merupakan panjang gelombang dari faktor kosinus pada *filter Gabor* dan merupakan panjang gelombang

yang diinginkan.

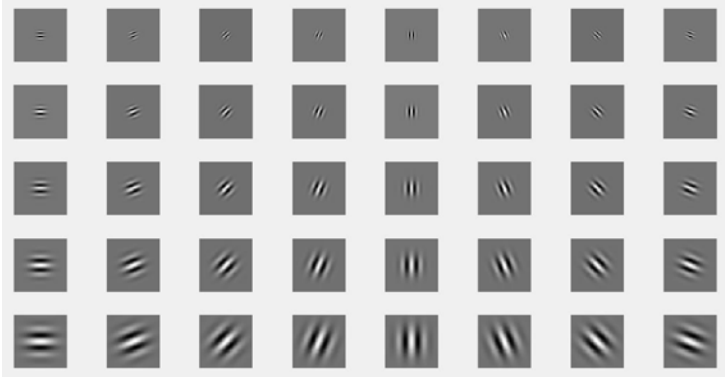
- c. θ , merupakan orientasi garis normal ke garis sejajar fungsi Gabor.
- d. φ , merupakan fase offset. Nilai yang valid adalah antara $-\pi$ sampai π . Nilai 0 dan π sesuai dengan fungsi *center-simetris*, sedangkan $-\frac{\pi}{2}$ dan $\frac{\pi}{2}$ sesuai dengan fungsi *anti-simetris*[14,17].
- e. γ , merupakan aspek rasio spasial yang menentukan elipsitas dari fungsi *Gabor* dengan nilai default 0,5[16,17].
- f. σ , merupakan standar deviasi dari faktor Gaussian dari fungsi Gabor. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nikolay Petkov dan Peter Kruizinga[15,16] nilai σ tidak dapat ditentukan secara langsung. Hanya bisa diubah melalui nilai *bandwith* (b). Aliran frekuensi spasial (*bandwith*) dari filter Gabor berhubungan dengan rasio σ/λ yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$b = \log_2 \frac{\frac{\sigma}{\lambda} + \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\ln 2}{2}}}{\frac{\sigma}{\lambda} - \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\ln 2}{2}}} \quad (2.5)$$

$$\frac{\sigma}{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\ln 2}{2}} \cdot \frac{2^b + 1}{2^b - 1} \quad (2.6)$$

dari persamaan (2.5) dan (2.6) diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{\ln 2}{2}} \cdot \frac{2^b + 1}{2^b - 1} \quad (2.7)$$



Gambar 2.5. Contoh Hasil Filter *Gabor* dengan 5 frekuensi dan 8 orientasi

Secara umum, kernel filter *Gabor* memiliki ukuran tinggi dan lebar bernilai ganjil. Ukuran kernel filter *Gabor* bisa diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$U(z) = \begin{cases} z + 1, & z \bmod 2 = 0 \\ z, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.8)$$

dengan,

$$z = 8 \times \left(\max(\sigma_x, \sigma_y) \right) \quad (2.9)$$

$$\sigma_x = \sigma \quad (2.10)$$

$$\sigma_y = \frac{\sigma}{\gamma} \quad (2.11)$$

dari persamaan (2.7) diperoleh nilai U sehingga didapatkan ukuran kernel filter *Gabor* adalah $U \times U$.

Misalkan diberikan nilai $\lambda = 2$, $bandwidth(b) = 3$ dan $\gamma = 0,5$ sehingga nilai $U = 7$. Dengan nilai parameter $\theta = \frac{\pi}{4}$ dan $\varphi = \frac{\pi}{2}$ dan menggunakan persamaan (2.3) maka akan diperoleh matriks seperti di bawah ini:

[x,y]	-3	-2	1	0	1	2	3
-3	0	0	0	0	-0,0002	0,0003	0
-2	0	0	0	-0,0044	0,0240	0	-0,0003

1	0	0	-0,0130	0,2071	0	-0,0240	0,0002
0	0	-0,0044	0,2071	0	-0,2071	0,0044	0
1	-0,0002	0,0240	0	-0,2071	0,0130	0	0
2	0,0003	0	-0,0240	0,0044	0	0	0
3	0	-0,0003	0,0002	0	0	0	0

2.6 Konvolusi

Konvolusi merupakan sebuah operasi matematika dari dua fungsi f dan g yang menghasilkan fungsi ketiga h . Terdapat dua jenis konvolusi yaitu konvolusi kontinu dan konvolusi diskrit. Dalam pengolahan citra digital berlaku pada domain spasial sehingga konvolusi yang digunakan adalah konvolusi diskrit. Secara umum operasi konvolusi diskrit dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 h(x, y) &= f(x, y) * g(x, y) \\
 &= \sum_{a=-\infty}^{\infty} \sum_{b=-\infty}^{\infty} f(a, b) g(x - a, y - b)
 \end{aligned}$$

Fungsi $f(x, y)$ adalah fungsi yang direpresentasikan sebagai citra dan fungsi $g(x, y)$ adalah kernel konvolusi atau kernel *filter*. Kernel $g(x, y)$ merupakan suatu jendela yang dioperasikan secara bergeser pada sinyal masukan $f(x, y)$, yang dalam hal ini jumlah perkalian kedua fungsi pada setiap titik merupakan hasil konvolusi dinyatakan sebagai keluaran fungsi $h(x, y)$. Karena ukuran citra terbatas pada ukuran $M \times N$ dengan kernel berukuran $m \times n$ maka operasi fungsi konvolusi didefinisikan sebagai berikut:

$$(f * g)(x, y) = \sum_{a=x-v}^{x+v} \sum_{b=y-w}^{y+w} f(a, b) g(x - a, y - b) \quad (2.12)$$

$m = 2v + 1$ adalah tinggi kernel dan $n = 2w + 1$ adalah lebar kernel. Operasi dilakukan dengan melakukan kombinasi linear dari mengambil bagian input citra yang sama dengan kernel dan nilai hasil operasi disimpan berupa elemen nilai matriks kemudian dilanjutkan dengan menggeser kernel piksel per piksel sampai terhimpun keseluruhan nilai piksel baru.

2.7 ℓ_2 -norm

ℓ_2 -norm adalah *vector norm* yang biasa ditemui dalam aljabar vektor dan operasi vector. Fungsi ℓ_2 -norm memiliki persamaan sebagai berikut:

$$\ell_2(v) = \sqrt{\sum_{k=1}^N |v_k|^2} \quad (2.13)$$

dengan v merupakan vector dengan N komponen, sedangkan $|v_k|$ merupakan nilai modulus dari bilangan kompleks. Misalkan sebuah bilangan kompleks $z = a + ib$ maka nilai modulus dari z dapat dituliskan sebagai berikut:

$$|z| = |a + ib| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

persamaan di atas merupakan rumus untuk menghitung *magnitude* dari masing-masing piksel pada citra[6].

2.8 Matematika Morfologi

Matematika morfologi atau biasa disebut morfologi saja dikenal sebagai sebuah teknik analisis struktur spasial yang bertujuan untuk menganalisa bentuk dan format objek pada citra biner dan citra *grayscale*. Operasi morfologi dilakukan dengan membandingkan objek yang diteliti dengan sebuah matriks yang disebut dengan struktur elemen. Matriks yang digunakan pada struktur elemen dapat menyerupai cakram, garis, lingkaran, segienam, dan lain-lain tergantung pada kebutuhan pengguna dalam proses pengolahan citra

digital. Operasi-operasi pada matematika morfologi dilakukan dengan tujuan untuk identifikasi objek, eliminasi *noise* pada citra, dan kebutuhan lainnya.

Dalam metode matematika morfologi citra biner, terdapat 4 buah operasi utama, yaitu:

1. Erosi

Erosi adalah morfologi dual dari dilasi. Erosi adalah transformasi morfologi yang mengombinasikan dua himpunan dengan menggunakan operasi penghilangan elemen-elemen himpunan[8].

Jika A dan B adalah himpunan dalam ruang Euclide dimensi 2 (E^2), maka erosi A dan B adalah himpunan semua elemen x dimana $x + b \in A$ untuk setiap $b \in B$. Erosi dari A oleh B ditulis $A \ominus B$ dan didefinisikan dengan Persamaan:

$$A \ominus B = \{x \in E^2 \mid x + b \in A, \forall b \in B\}$$

Misalkan terdapat himpunan $E = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, maka $E^2 = E \times E$

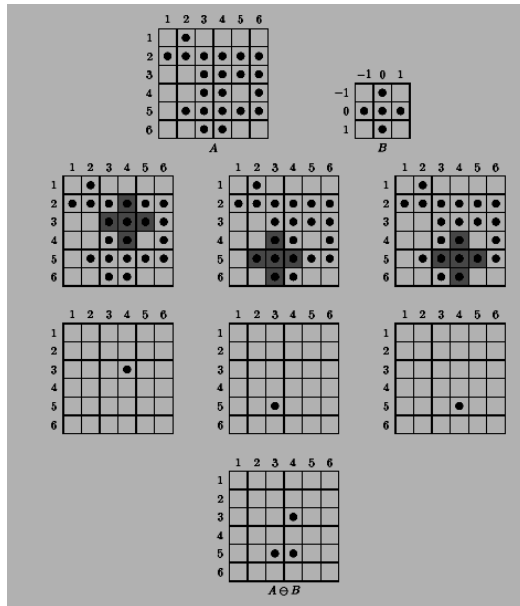
$$\begin{aligned} &= \{(1,1), (1,2), (1,3), (1,4), (1,5), (1,6), \\ &\quad (2,1), (2,2), (2,3), (2,4), (2,5), (2,6), \\ &\quad (3,1), (3,2), (3,3), (3,4), (3,5), (3,6), \\ &\quad (4,1), (4,2), (4,3), (4,4), (4,5), (4,6), \\ &\quad (5,1), (5,2), (5,3), (5,4), (5,5), (5,6), \\ &\quad (6,1), (6,2), (6,3), (6,4), (6,5), (6,6)\} \end{aligned}$$

Gambar 2.6. menunjukkan ilustrasi himpunan A dan B dengan elemen-elemen sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A = \{ &(1,2), (2,1), (2,2), (2,3), (2,4), (2,5), (2,6), \\ &(3,3), (3,4), (3,5), (3,6), (4,3), (4,4), (4,6), \\ &(5,2), (5,3), (5,4), (5,5), (5,6), (6,3), (6,4)\} \end{aligned}$$

$$B = \{(-1,0), (0, -1), (0,0), (0,1), (1,0)\}$$

Kemudian dilakukan proses erosi pada A oleh B sehingga didapatkan $A \ominus B = \{(3,4), (5,3), (5,4)\}$



Gambar 2.6. Ilustrasi proses erosi A oleh struktur elemen B

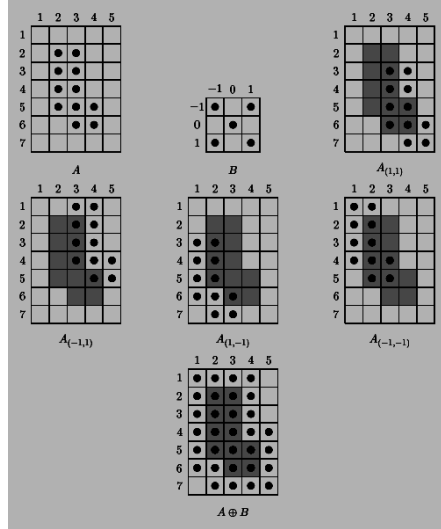
2. Dilasi

Dilasi adalah transformasi morfologi yang mengkombinasikan dua himpunan dengan menggunakan penambahan vector dari elemen-elemen himpunan[8].

A dan B adalah himpunan dalam ruang Euclidean dimensi 2 (E^2). A dan B masing-masing mempunyai elemen $a = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ dan $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ dimana m merupakan banyaknya elemen himpunan A dan n merupakan banyaknya elemen himpunan B.

Dilasi dari A dan B ditulis $A \oplus B$ dan didefinisikan dengan persamaan:

$$A \oplus B = \{c \in E^2 | c = a_i + b_j \text{ jika } a_i \neq b_j \forall a \in A, i=1, 2, \dots, m \text{ dan } b \in B, j=1, 2, \dots, n\}$$

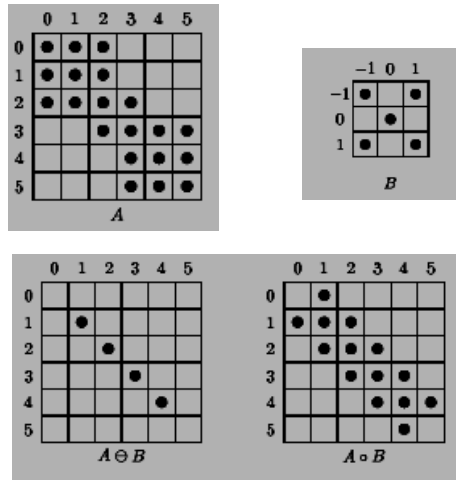


Gambar 2.7. Ilustrasi proses dilasi A oleh struktur elemen B

3. Opening

Opening adalah operasi erosi yang diikuti oleh dilasi dengan menggunakan elemen penstruktur yang sama[8]. Operator opening pada citra dengan elemen struktur disk berguna untuk menghaluskan kontur, memutuskan panah atau garis yang perlu dan menghilangkan daerah atau sudut yang tajam. Opening citra A oleh elemen struktur B ditulis $A \circ B$ dan didefinisikan pada persamaan:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$



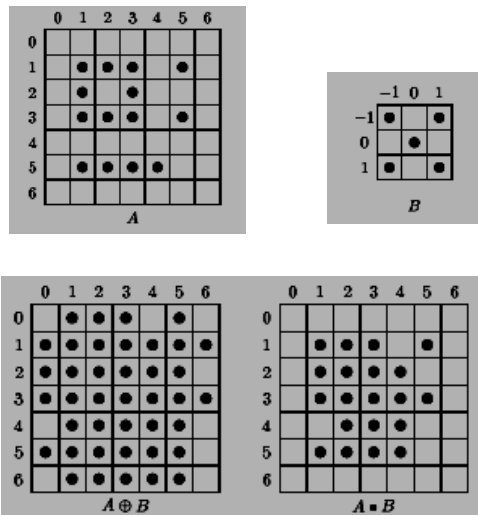
Gambar 2.8. Ilustrasi proses *Opening* A oleh struktur elemen B

4. *Closing*

Closing adalah operasi dilasi yang diikuti oleh erosi dengan menggunakan elemen penstruktur yang sama [8]. *Closing* pada citra dengan elemen struktur disk berguna untuk menghaluskan kontur, menghubungkan garis-garis yang patah dan garis tipis yang panjang, menghilangkan lubang-lubang kecil dan mengisi kekosongan pada kontur.

Closing adalah operasi dilasi yang diikuti oleh erosi dengan menggunakan elemen penstruktur yang sama. *Closing* dari citra A oleh elemen struktur B ditulis $A \cdot B$ dan didefinisikan pada persamaan:

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B$$



Gambar 2.9. Ilustrasi proses *Closing* A oleh struktur elemen B

Terdapat beberapa pengembangan proses morfologi dengan kombinasi operasi morfologi dasar, salah satunya yaitu operasi **bridge**. Operasi **bridge** menghubungkan piksel yang dipisahkan oleh celah piksel tunggal. Operasi ini dilakukan dengan menetapkan piksel bernilai 0 ke 1 jika mereka memiliki dua tetangga bukan nol yang tidak terhubung.



Gambar 2.10. Ilustrasi proses operasi ‘bridge’

2.9 Connected Component Labeling

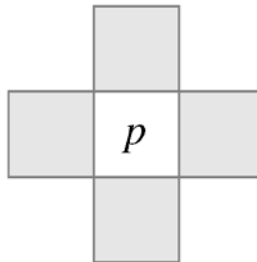
Connected Component Labeling merupakan salah satu algoritma yang bisa digunakan untuk mengklasifikasikan *region* atau objek dalam citra digital. Algoritma ini memanfaatkan teori *connectivity* piksel pada citra. Piksel-piksel dalam *region* dapat dikatakan *connected* (ada konektivitasnya) apabila memenuhi aturan *adjacency*.

Piksel-piksel yang dikatakan *connected* memiliki sifat *adjacency* satu sama lain karena masih memiliki hubungan ketetanggaan (*neighbourhood*). Citra yang bisa diolah menggunakan metode ini adalah citra biner.

Menurut Gonzales dan Woods[8] terdapat dua jenis konektivitas yang digunakan pada citra dua dimensi, yaitu:

a. *4-connected*

Piksel-piksel yang berdekatan dikatakan memiliki hubungan *4-connected* jika piksel-piksel tersebut terletak berdampingan secara horizontal dan vertical $N_4(P)$. Kumpulan dari piksel-piksel ini disebut dengan *4-neighbors of P*.

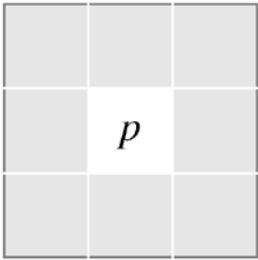


Gambar 2.11. Piksel *4-connected*

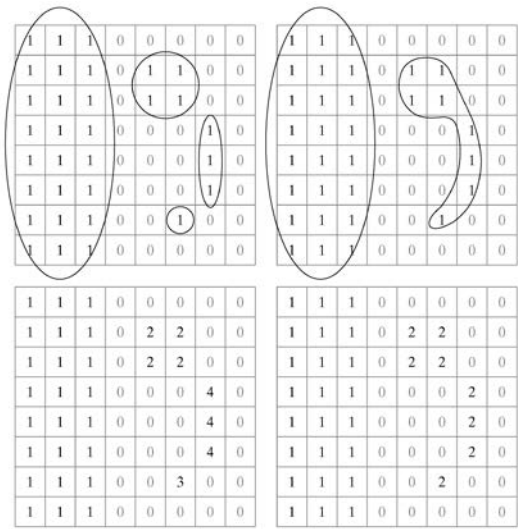
b. *8-connected*

Piksel-piksel yang berdekatan dikatakan memiliki hubungan *8-connected* jika piksel-piksel tersebut terletak berdampingan secara horizontal dan

vertical $N_8(P)$ atau disebut juga empat diagonal neighbors.



Gambar 2.12. *Piksel 8-connected*



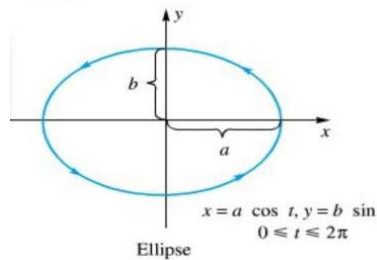
Gambar 2.13. *Ilustrasi proses Connected Component Labeling*

2.10 Pemilihan Objek Retakan berdasarkan Bentuk dan Ukuran Objek

Pengukuran dimensi merupakan suatu proses yang dilakukan untuk memperkirakan ukuran dari retakan yang telah terdeteksi. Pengukuran dimensi fitur retak yang terdeteksi dilakukan dengan memperkirakan ukuran panjang dan lebar retakan.

Dalam pengukuran dimensi, objek retakan direpresentasikan sebagai sebuah *region* dengan pendekatan bentuk elips seperti pada Gambar 2.14. Untuk setiap elips, digunakan bentuk parametrik dari persamaan elips sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 x &= a \cos t, \quad y = b \sin t, \quad 0 \leq t \leq 2\pi \\
 \left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 &= \cos^2 t + \sin^2 t = 1 \\
 \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} &= 1
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$



Gambar 2.14. Ilustrasi Grafik Elips

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian agar proses pengerjaan dapat terstruktur dengan baik dan dapat mencapai tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

Pembahasan metode penelitian diawali dengan penjelasan tentang objek dan aspek penelitian, peralatan yang digunakan, dan tahap penelitian.

3.1 Objek dan Aspek Penelitian

Objek yang akan diteliti adalah retak *longitudinal*, retak *transversal*, dan retak diagonal pada citra jalan beraspal. Sedangkan aspek penelitian yang digunakan yaitu mengetahui ukuran dimensi retakan pada citra jalan beraspal menggunakan *Filter Gabor*.

3.2 Peralatan

Peralatan utama penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan usulan Tugas Akhir ini adalah :

1. Perangkat keras
Komputer/laptop dengan spesifikasi Prosesor Intel® Celeron® CPU 1007U @1.50GHz, RAM 2 GB DDR3, Tipe sistem 64-bit, serta menggunakan Sistem Operasi Windows 10
2. Perangkat lunak yang digunakan untuk membuat program simulasi sistem pengukuran dimensi retakan pada citra jalan adalah Matlab dengan versi R2017a.

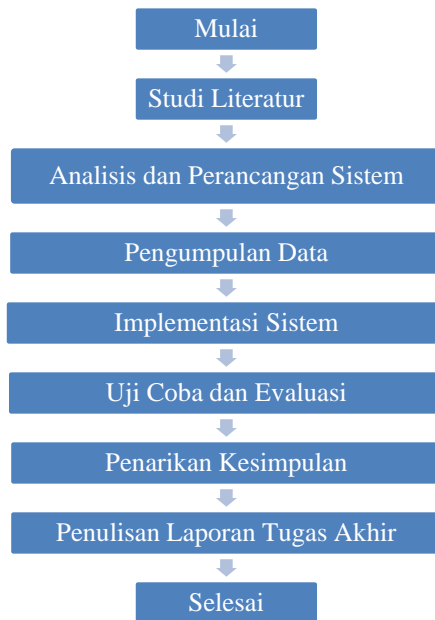
3.3 Data Penelitian

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari dataset penelitian yang dilakukan oleh Yong Shi, dkk.[11,12].

Data yang diambil terdiri dari data citra retakan jalan baik retak *transversal*, retak *longitudinal*, maupun retak diagonal. Ukuran dari masing-masing citra adalah 320x480.

3.4 Tahap Penelitian

Berikut merupakan diagram alir beserta penjelasan dari ahap-tahap penelitian dalam Tugas Akhir ini.



Gambar 3.1. Diagram Alir Tahap Penelitian

1. Studi Literatur

Pada tahap ini, akan dilakukan pengumpulan teori-teori pendukung penulisan Tugas Akhir ini, yaitu dengan membaca referensi dari buku maupun

jurnal mengenai pengolahan citra dua dimensi, serta filter Gabor.

2. Analisis dan Perancangan Sistem

Pada tahap ini, akan dilakukan perancangan sistem untuk segmentasi area retakan menggunakan filter Gabor dengan menambahkan algoritma perhitungan ukuran retakan pada citra jalan beraspal.

3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini, akan dilakukan pengumpulan data. Data yang digunakan berupa citra dua dimensi retakan pada jalan beraspal. Pengambilan data citra dilakukan secara langsung menggunakan kamera.

4. Implementasi Sistem

Setelah data citra terkumpul, maka tahap selanjutnya akan dilakukan implementasi sistem yang telah dibuat untuk mengolah data citra yang ada untuk mengetahui hasil segmentasi area retakan serta estimasi dimensi pada citra yang digunakan.

5. Uji Coba dan Evaluasi

Pada tahap ini dilakukan pengujian menggunakan beberapa citra gambar yang berbeda untuk mendapatkan hasil terbaik serta memberikan evaluasi pada sistem atau algoritma yang telah dibuat.

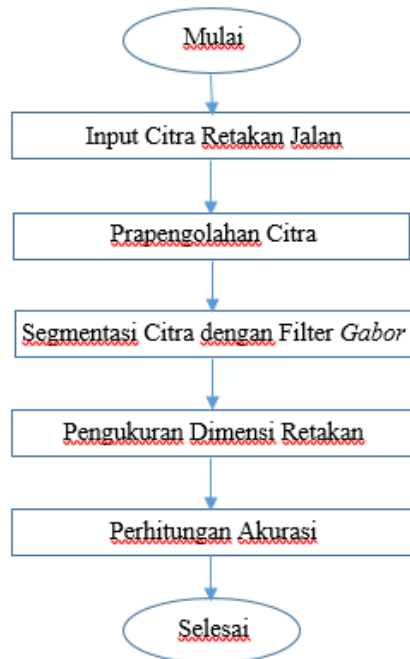
6. Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini, akan dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil implementasi, pengujian serta evaluasi yang telah dilakukan pada algoritma yang sudah dibuat.

7. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

elah diperoleh kesimpulan dari hasil segmentasi area retakan pada citra jalan, maka selanjutnya akan dilakukan penyusunan laporan Tugas Akhir.

Proses pengukuran dimensi retakan jalan pada Tugas Akhir ini terdiri dari beberapa proses yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram Alir Algoritma Sistem

1. Input Citra Retakan Jalan
Pada tahap ini diberikan input berupa citra jalan beraspal yang memiliki retakan yang telah diambil menggunakan kamera digital.
2. Pra-pengolahan Citra (*Preprocessing*)
Pada tahap ini akan dilakukan pra-pengolahan pada citra input yang diberikan. Beberapa langkah yang dilakukan pada tahap pra-pengolahan citra ini

yaitu *grayscale*, dan proses normalisasi. Proses ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra dan mempermudah proses pengolahan citra selanjutnya.

3. Segmentasi Citra dengan Filter Gabor
Citra yang telah melalui tahap pra-pengolahan akan di konvolusi dengan filter Gabor yang memiliki beberapa orientasi berbeda. Kemudian citra hasil konvolusi akan di ubah menjadi citra biner.
4. Proses Morfologi Citra
Proses ini dilakukan untuk menghilangkan *noise* serta memperjelas objek retakan pada citra biner yang telah dihasilkan sebelumnya.
5. Pengukuran Dimensi Retakan
Pada tahap ini akan dilakukan pengukuran dimensi yaitu panjang dan lebar dari area yang melingkupi retakan yang telah terdeteksi pada citra hasil segmentasi dengan filter Gabor sebelumnya. Pengukuran dimensi dapat dilakukan melalui proses *labeling*.
6. Menghitung Akurasi
Pada tahap ini akan dihitung akurasi dari filter Gabor untuk segmentasi area retakan pada citra dimensi jalan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB IV

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Pada bab ini dijelaskan mengenai perancangan sistem yang berisi tentang penjelasan perancangan data dan perancangan proses pada sistem.

4.1 Perancangan Data

Data yang digunakan dalam sistem pengukuran dimensi retakan ini dibagi menjadi tiga macam, yaitu data masukan (*input*), data proses, dan data keluaran (*output*). Data masukan merupakan data citra retakan pada jalan beraspal input dari pengguna sistem. Data proses adalah data ketika tahap-tahap pemrosesan citra retakan jalan beraspal sedang dilakukan. Sedangkan data keluaran adalah data yang ditampilkan kepada pengguna sistem.

a. Data Masukan (*input*)

Data masukan merupakan data yang dimasukkan oleh pengguna sistem terdiri dari 15 citra retakan pada jalan beraspal. Data citra *input* disimpan dalam format .jpg.

b. Data Proses

Tabel 4.1. Data Proses

No.	Nama Data	Tipe Data	Keterangan
1.	Citra RGB	Uint8	Data ini berupa matriks representasi citra retakan jalan RGB
2.	Citra <i>grayscale</i>	Uint8	Data ini berupa nilai piksel hasil proses citra keabuan
3.	Citra ternormalisasi	Uint8	Data ini berupa nilai piksel citra retakan jalan setelah proses normalisasi dengan ukuran 160x240

4.	Citra terfilter	double	Data ini berupa nilai piksel citra retakan jalan setelah proses filtersasi menggunakan filter <i>Gabor</i>
5.	Citra hasil morfologi	logical	Data ini merupakan citra biner dari citra terfilter yang telah melalui proses morfologi.

c. Data Keluaran (*output*)

Data keluaran yang dihasilkan dari sistem ini adalah ukuran panjang dan lebar retakan pada jalan beraspal.

4.2 Perancangan Proses Secara Umum

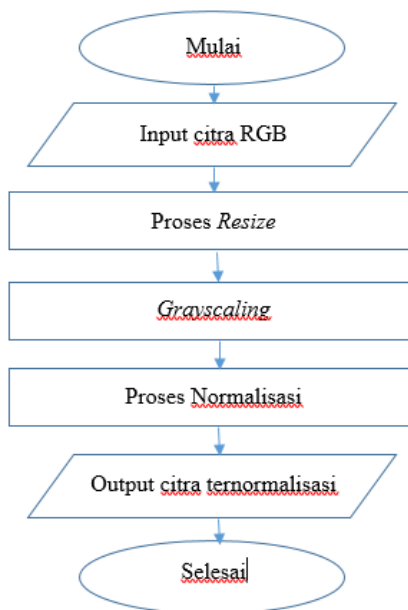
Gambaran proses secara umum merupakan gambaran keseluruhan proses yang dilakukan sistem serta algoritma-algoritma yang digunakan untuk mengerjakan masing-masing proses tersebut. Sistem ini terdiri dari 3 proses utama, yaitu:

- a. Proses *preprocessing* merupakan serangkaian proses untuk mempersiapkan citra retakan jalan sebelum proses segmentasi menggunakan *Filter Gabor*. Proses *preprocessing* meliputi berapa proses yaitu *grayresize*, *resize*, dan proses normalisasi.
- b. Proses segmentasi citra menggunakan *Filter Gabor* merupakan tahapan untuk membedakan bagian retakan dan *background* pada citra retakan jalan. Pada proses ini dilakukan proses filterisasi citra menggunakan *Filter Gabor*, kemudian citra yang telah dikenai filter diubah menjadi citra biner. Pada citra biner dilakukan proses morfologi citra untuk menghilangkan *noise* dan memperjelas retakan.

- c. Proses pengukuran dimensi retakan dilakukan pada citra biner yang telah dihasilkan sebelumnya. Pengukuran dimensi dilakukan menggunakan fungsi *regionprops* pada Matlab. Fungsi *regionprops* yang akan digunakan berbentuk *elips*, sehingga akan diperoleh nilai *major axis length* sebagai panjang dari retakan dan *minor axis length* sebagai lebar dari retakan.

4.3 Pra-Pemrosesan Citra (*Preprocessing*)

Proses *preprocessing* pada citra retakan jalan raya ditunjukkan pada Gambar 4.1.

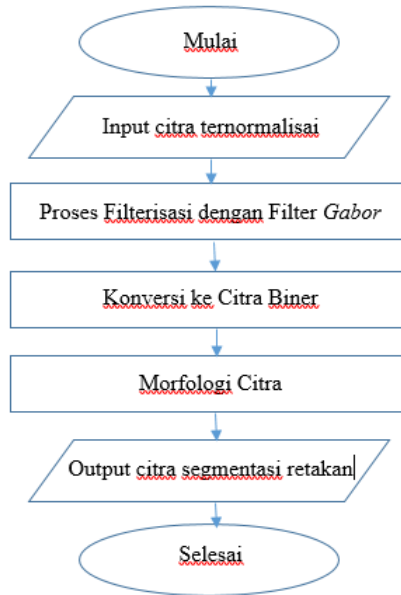


Gambar 4.1. Diagram Alir Proses *Preprocessing*

- a. Proses *grayscale*, yaitu proses merubah citra RGB (*Red, Green, Blue*) menjadi citra yang memiliki nilai keabuan. Sehingga citra yang memiliki 3 *channel* warna, yakni *red, green, blue* dapat menjadi citra *grayscale*.
- b. Proses *resize*, yaitu proses untuk mengubah ukuran piksel citra *grayscale* menjadi citra yang berukuran baru. Ukuran citra diubah menjadi 160x240. Proses ini bertujuan untuk menyamakan ukuran citra dan memperkecil ukuran citra agar jumlah piksel yang diolah tidak terlalu banyak.
- c. Proses normalisasi dilakukan untuk menghilangkan efek *noise* dengan cara menyeragamkan nilai keabuan pada citra jalan. Persamaan untuk normalisasi ditunjukkan pada persamaan(2.3). Pada proses ini ditetapkan nilai $M_0 = 100$ dan $V_0 = 100$ [3].
Langkah-langkah selengkapnya untuk melakukan proses normalisasi citra retakan jalan adalah sebagai berikut:
 - a. Hitung nilai rata-rata untuk nilai piksel pada *input* citra retakan jalan.
 - b. Hitung nilai varian untuk nilai piksel pada *input* citra retakan jalan.
 - c. Gunakan persamaan (2.3) untuk memperoleh hasil proses normalisasi nilai keabuan citra wajah.
 - d. Dihasilkan citra yang telah ternormalisasi.

4.4 Proses Segmentasi Citra

Proses segmentasi citra bertujuan untuk membedakan citra objek dengan citra background. Proses segmentasi citra ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Diagram Alir Proses Segmentasi Citra

4.4.1 Proses Filterisasi

Proses Filterisasi merupakan proses konvolusi citra retakan jalan ternormalisasi dengan *filter Gabor*. Sebelum proses konvolusi dilakukan, *filter Gabor* dibangun dari persamaan(2.4).

Berikut contoh perhitungan membangun *filter Gabor* dengan nilai parameter yang telah ditentukan yaitu $\lambda = 2$, $\theta = \frac{\pi}{4}$, $\gamma = 0,5$, dan bandwidth (b) = 4.

Untuk menentukan ukuran dari *filter Gabor* yang akan dibangun harus dicari nilai dari σ terlebih dahulu. Untuk menghitung nilai σ digunakan persamaan(2.7).

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{\ln 2}{2} \cdot \frac{2^4+1}{2^4-1}} \\
 &= \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{\ln 2}{2} \cdot \frac{16+1}{16-1}} \\
 &= \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{\ln 2}{2} \cdot \frac{17}{15}} \\
 &= 0,4248
 \end{aligned}$$

diperoleh,

$$\sigma_x = \sigma = 0,4248$$

$$\sigma_y = \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{0,4248}{0,5} = 0,8495$$

Misalkan ukuran *filter* adalah z , maka untuk menghitung nilai z digunakan persamaan sebagai berikut:

$$z = 8 \times \max(\sigma_x, \sigma_y)$$

Kemudian dicari nilai maksimum dari nilai σ_x dan σ_y yang telah didapatkan sebelumnya. Dapat dilihat bahwa nilai σ_y lebih besar dari nilai σ_x . Sehingga,

$$\begin{aligned}
 z &= 8 \times \sigma_y \\
 &= 8 \times 0,8495 \\
 &= 6,796
 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan pembulatan ke bawah terhadap nilai z menjadi $z = 6$. Berdasarkan persamaan (2.8) karena nilai $z = 6$ maka,

$$\begin{aligned}
 z \bmod 2 &= 6 \bmod 2 = 0 \\
 U(z) &= z + 1 \\
 &= 6 + 1 \\
 &= 7
 \end{aligned}$$

Kemudian dibentuk matriks x dan matriks y dengan ukuran 7×7 sebagai berikut:

$$x = \begin{bmatrix} -3 & -2 & -1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ -3 & -2 & -1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ -3 & -2 & -1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ -3 & -2 & -1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ -3 & -2 & -1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ -3 & -2 & -1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ -3 & -2 & -1 & 0 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 & -3 & -3 & -3 & -3 \\ -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \end{bmatrix}$$

kemudian akan dihitung nilai x' dan y' seperti pada persamaan berikut:

$$x' = x \cos 45 + y \sin 45$$

$$y' = -x \sin 45 + y \cos 45$$

Diperoleh nilai matriks x' sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} -4.2426 & -3.5355 & -2.8284 & -2.1213 & -1.4142 & -0.7071 & 0 \\ -3.5355 & -2.8284 & -2.1213 & -1.4142 & -0.7071 & 0 & 0.7071 \\ -2.8284 & -2.1213 & -1.4142 & -0.7071 & 0 & 0.7071 & 1.4142 \\ -2.1213 & -1.4142 & -0.7071 & 0 & 0.7071 & 1.4142 & 2.1213 \\ -1.4142 & -0.7071 & 0 & 0.7071 & 1.4142 & 2.1213 & 2.8284 \\ -0.7071 & 0 & 0.7071 & 1.4142 & 2.1213 & 2.8284 & 3.5355 \\ 0 & 0.7071 & 1.4142 & 2.1213 & 2.8284 & 3.5355 & 4.2426 \end{bmatrix}$$

Dan nilai matriks y' sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} 0 & -0.7071 & -1.4142 & -2.1213 & -2.8284 & -3.5355 & -4.2426 \\ 0.7071 & 0 & -0.7071 & -1.4142 & -2.1213 & -2.8284 & -3.5355 \\ 1.4142 & 0.7071 & 0 & -0.7071 & -1.4142 & -2.1213 & -2.8284 \\ 2.1213 & 1.4142 & 0.7071 & 0 & -0.7071 & -1.4142 & -2.1213 \\ 2.8284 & 2.1213 & 1.4142 & 0.7071 & 0 & 0.7071 & -1.4142 \\ 3.5355 & 2.8284 & 2.1213 & 1.4142 & 0.7071 & 0 & -0.7071 \\ 4.2426 & 3.5355 & 2.8284 & 2.1213 & 1.4142 & 0.7071 & 0 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan nilai-nilai tersebut akan dihitung nilai elemen-elemen kernel *Gabor* berdasarkan persamaan(2.4).

Dengan nilai parameter $\varphi = 0$ diperoleh kernel *Gabor* sebagai berikut:

$$G_1 = \begin{bmatrix} 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0002 & 0.0001 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0012 & -0.0183 & 0.0135 & -0.0002 \\ 0.0000 & 0.0000 & -0.0036 & -0.1577 & 0.3407 & -0.0183 & 0.0000 \\ 0.0000 & -0.0012 & -0.1577 & 1.0000 & -0.1577 & -0.0012 & 0.0000 \\ 0.0000 & -0.0183 & 0.3407 & -0.1577 & -0.0036 & 0.0000 & 0.0000 \\ -0.0002 & 0.0135 & -0.0183 & -0.0012 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0001 \\ 0.0001 & -0.0002 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

Dengan cara yang sama dihitung nilai kernel *Gabor* dengan nilai parameter $\varphi = \frac{\pi}{2}$

$$G_2 = \begin{bmatrix} 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0002 & 0.0003 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0044 & 0.0240 & 0.0000 & -0.0003 \\ 0.0000 & 0.0000 & -0.0130 & 0.2071 & 0.0000 & -0.0240 & 0.0002 \\ 0.0000 & -0.0044 & 0.2071 & 0.0000 & -0.2071 & 0.0044 & 0.0000 \\ -0.0002 & 0.0240 & 0.0000 & -0.2071 & 0.0130 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0003 & 0.0000 & -0.0240 & 0.0044 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & -0.0003 & 0.0002 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

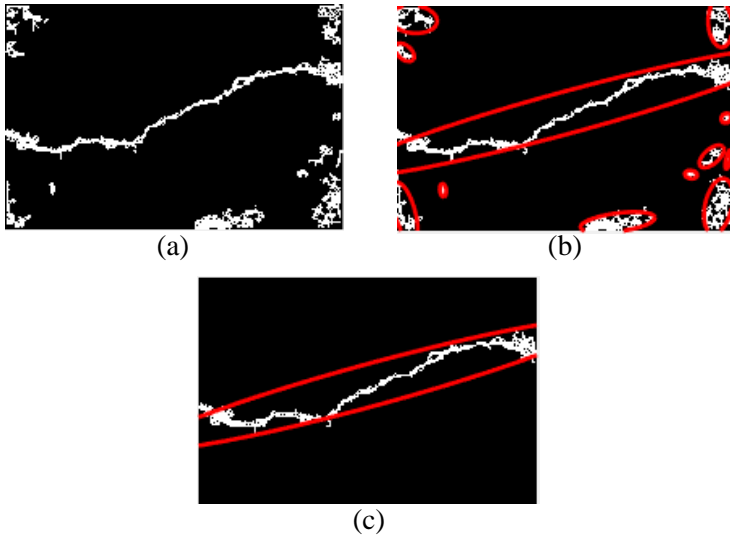
Kedua kernel *Gabor* tersebut dijumlahkan dengan elemen-elemen G_1 sebagai bagian real dan elemen-elemen G_2 sebagai bagian imajiner.

4.5 Proses Pemilihan Objek Retakan Berdasarkan Bentuk dan Ukuran Objek

Langkah-langkah untuk melakukan proses pemilihan objek retakan adalah sebagai berikut:

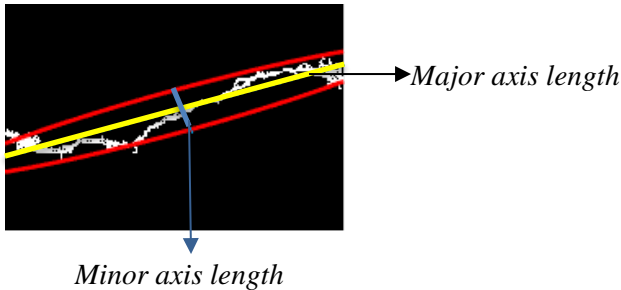
1. Proses *Labeling*

Proses ini dilakukan untuk menandai setiap objek yang terdapat pada citra biner. Proses *labeling* ditunjukkan pada Gambar 4.3.(b).



Gambar 4.3. Proses *Labeling* dan seleksi objek retakan. (a) Citra biner dengan beberapa objek. (b) Citra hasil proses *labeling* pada setiap objek. (c) Citra hasil seleksi objek retakan.

2. Proses Seleksi atau Pemilihan Objek Retakan
Proses ini dilakukan pada citra biner yang telah melalui proses *labeling* seperti pada Gambar 4.3.(b). Pada proses ini ditentukan nilai *threshold* untuk *major axis length*. Objek dengan nilai *major axis length* yang tidak memenuhi *threshold* akan dihapus, sehingga menghasilkan citra objek retakan seperti pada Gambar 4.3.(c).
3. Proses Pengukuran Panjang dan Lebar
Proses pengukuran dilakukan berdasarkan ukuran elips yang melingkupi area retakan seperti pada Gambar 4.3.(c). Dengan asumsi nilai *major axis length* sebagai panjang objek dan nilai *minor axis length* sebagai lebar objek.



Gambar 4.4. Ilustrasi penentuan *Major Axis Length* sebagai panjang objek dan *Minor Axis Length* sebagai lebar objek

4.6 Implementasi Sistem

Pada subbab ini akan dibahas mengenai langkah-langkah dalam pengimplementasian sistem berdasarkan desain sistem yang telah dirancang.

4.6.1 Implementasi Antarmuka (*Interface*)

Pada Tugas Akhir ini antarmuka sistem dibangun dengan menggunakan Matlab. Antarmuka dirancang sedemikian rupa agar pengguna dapat beradaptasi dengan mudah dalam menggunakan program tersebut.

Pada halaman utama antarmuka sistem terdapat panel-panel untuk menampilkan citra output pada setiap tahapan proses. Pada tampilan antarmuka juga terdapat tombol 'Select Image' untuk memilih citra yang akan diproses. Tombol 'Process' digunakan untuk memulai proses segmentasi citra. Proses segmentasi citra dapat dilakukan setelah memasukkan nilai parameter λ dan *bandwidth* pada panel *edit text*. Selain itu juga terdapat panel untuk menampilkan hasil pengukuran panjang dan lebar. Antarmuka halaman utama dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.5. Tampilan Antarmuka Pengukuran Dimensi Retakan

4.6.2 Implementasi Tahap *Preprocessing*

Proses Pra-pengolahan (*preprocessing*) diimplementasikan menjadi sebuah program ke dalam fungsi berikut ini:

```
image_in = imresize(image_in, [160 240]);
image_in = rgb2gray(image_in);
nor = normalisasi(image_in);
```

Pada fungsi di atas 'image_in' merupakan variabel yang menyimpan citra input. Citra input yang diberikan diproses pada fungsi *resize*, *grayscale*, dan normalisasi. Citra hasil proses normalisasi akan disimpan pada variabel 'nor'.

Source code selengkapnya dari fungsi ini dapat dilihat pada lampiran. Proses ini menghasilkan citra keabuan

dengan nilai pixel berupa data *uint8*. Citra berupa citra retakan yang telah ternormalisasi dengan ukuran 160x240.

4.6.3 Implementasi Tahap Segmentasi Citra

a. Proses Filterisasi

Proses pembuatan *Gabor* kernel diimplementasikan menjadi sebuah program ke dalam fungsi berikut ini:

```
function [ gb ] = gabor_fn( bw, gamma, psi, lambda, theta )

sigma = lambda/pi*sqrt(log(2)/2)*(2^bw+1)/(2^bw-1);
sigma_x = sigma;
sigma_y = sigma/gamma;

%Ukuran kernel
sz=fix(8*max(sigma_y,sigma_x));
if mod(sz,2)==0, sz=sz+1;end

[x y]=meshgrid(-fix(sz/2):fix(sz/2),-fix(sz/2):fix(sz/2));

x_theta=x*cos(theta)+y*sin(theta);
y_theta=-x*sin(theta)+y*cos(theta);

gb=exp(-0.5*(x_theta.^2/sigma_x.^2+y_theta.^2/sigma_y.^2)).*cos(2*pi/lambda*x_theta+psi);

end
```

Parameter dalam fungsi ini adalah *bandwith* (frekuensi spasial), aspek rasio spasial, fase offset, panjang gelombang dari faktor kosinus pada kernel filter *Gabor*, dan orientasi dari filter.

Selanjutnya proses filterisasi diimplementasikan menjadi sebuah program ke dalam fungsi berikut ini:

```
img_out(:,:,n) = conv2(img_in, gb, 'same');
```

Pada proses ini dilakukan konvolusi dengan parameter yang diberikan adalah citra retakan yang telah ternormalisasi, *filter Gabor* yang telah dibuat.

Dalam Tugas Akhir ini digunakan 4 *filter Gabor* dengan orientasi yang berbeda-beda, yaitu 0, 45, 90 dan 135. Sehingga dalam proses ini memanggil fungsi konvolusi sebanyak 4 kali. Masing-masing fungsi menghasilkan sebuah citra retakan terfilter sesuai orientasi yang digunakan.

```
img_out_displ = sum(abs(img_out).^2, 3).^0.5;
img_out_disp = img_out_displ./max(img_out_displ(:));
```

Variabel 'img_out_displ' menyimpan citra hasil proses penjumlahan *magnitude* dari 4 citra retakan terfilter. Proses tersebut menghasilkan sebuah citra yang kemudian dinormalisasi dan disimpan pada variabel 'img_out_disp'.

b. Konversi ke Citra Biner

Proses konversi ke citra biner dilakukan dengan mengubah citra yang telah terfilter menjadi citra biner menggunakan fungsi berikut:

```
BW2 = im2bw(img_out_disp);
invert = ~BW2;
```

Pada proses ini dihasilkan citra biner dengan nilai pixel berupa data *logical*. Karena pada fungsi pertama dihasilkan citra biner dengan objek retakan bernilai 1 (hitam) dan latar belakang (*background*) bernilai 0 (putih) maka dilakukan proses invers pada citra tersebut.

Sehingga dihasilkan citra biner dengan objek retakan bernilai 0 (putih) dan latar belakang (*background*) bernilai 1 (hitam).

c. Morfologi Citra

Pada proses ini dilakukan proses morfologi citra pada citra biner yang telah dihasilkan sebelumnya. Proses morfologi citra bertujuan untuk menghilangkan *noise* dan memperjelas objek retakan pada citra biner.

```
invert = bwareaopen(invert, 20);
invert = bwmorph(invert, 'bridge');
```

Fungsi ‘bwareaopen’ digunakan untuk menghilangkan *noise* yang berukuran kurang dari 20 piksel. Fungsi ‘bwmorph’ dengan jenis operasi ‘bridge’ digunakan untuk menggabungkan piksel retakan yang terpisah oleh celah piksel tunggal.

4.6.4 Implementasi Pemilihan Objek Retakan dan Pengukuran Dimensi Retakan

Langkah awal untuk melakukan pengukuran dimensi retakan adalah melakukan proses *labeling*. Proses diimplementasikan menjadi sebuah program dalam fungsi berikut ini:

```
L = bwlabel(invert, 8);
s = regionprops(L, 'Orientation', 'MajorAxisLength', ...
'MinorAxisLength', 'Eccentricity', 'Centroid');
```

Parameter dalam fungsi *labeling* adalah citra biner yang telah melalui proses morfologi citra dan jenis konektivitas piksel.

Dalam proses ini memungkinkan masih ditemukan *noise* yang bukan merupakan objek retakan. *Noise* tersebut dapat dihilangkan dengan menetapkan nilai *threshold* tertentu yang membedakan objek retakan dan *noise*. Proses ini

diimplementasikan menjadi sebuah program dalam fungsi berikut:

```
removed = 0;
%Remove the noisy regions
for i = 1:num
    dd = s(i).MajorAxisLength;
    if (dd < 100)
        L(L==i)=0;
        removed = removed + 1;
        num = num-1;
    end
end
```

Fungsi tersebut menghilangkan objek yang memiliki nilai *major axis length* kurang dari 100 piksel.

Dari fungsi *regionprops* diperoleh orientasi dari objek retakan, nilai *major axis length* sebagai panjang retakan, nilai *minor axis length* sebagai lebar retakan, serta koordinat titik tengah dari retakan. Nilai-nilai tersebut dapat digunakan untuk visualisasi elips pada citra biner retakan. *Source code* dari proses visualisasi elips dapat dilihat pada lampiran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

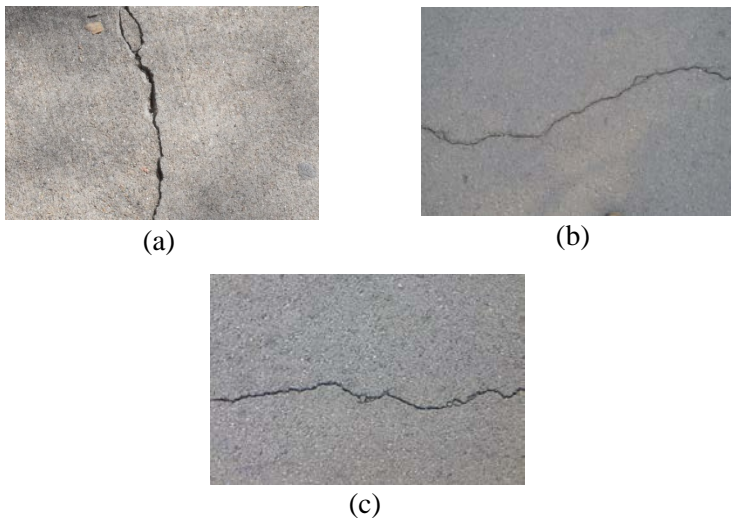
BAB V

UJI COBA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi hasil uji coba yang dihasilkan oleh implementasi sistem dan pembahasan terhadap hasil uji coba yang dilakukan.

5.1 Pengujian Tahap Akuisisi Data

Pengujian tahap akuisisi dilakukan untuk mengetahui bahwa sistem telah mendapatkan citra retakan pada jalan beraspal. Proses dilakukan dengan cara menginputkan file citra retakan jalan ke dalam program yang telah dibuat. Hasil akuisisi citra retakan jalan ditunjukkan pada Gambar 5.1



Gambar 5.1. Citra hasil akuisisi dari tiga jenis retakan yang berbeda. (a) retak *longitudinal* (b) retak diagonal dan (c) retak *transversal*

5.2 Pengujian Tahap *Preprocessing*

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap proses-proses pengolahan citra. Pengujian bertujuan untuk mengetahui bahwa proses-proses pada tahap *preprocessing* (pra-pengolahan citra) sudah benar, sehingga data yang didapatkan dari tahap ini dapat menjadi input pada tahap berikutnya. Pada tahap ini terdapat tiga proses yaitu *resize*, *grayscale*, dan normalisasi.

a. Proses *Scalling*

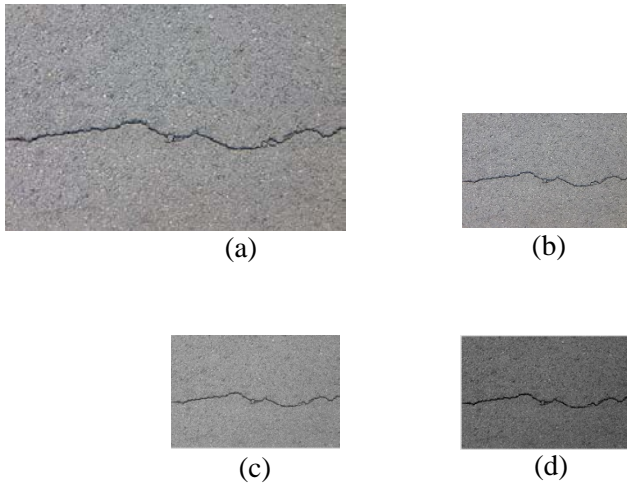
Proses *scalling* yaitu proses menyamakan ukuran citra sebelum dilakukan proses selanjutnya. Citra retakan jalan disamakan ukurannya menjadi 160x240. Proses ini dilakukan untuk mempermudah proses-proses selanjutnya.

b. Proses *Grayscale*

Proses *grayscale* yaitu proses mengubah citra RGB (*Red, Green, Blue*) yang memiliki tiga kanal warna menjadi citra *grayscale* yang memiliki satu kanal warna. Proses ini bertujuan untuk mempermudah pengolahan citra pada proses berikutnya.

c. Proses Normalisasi

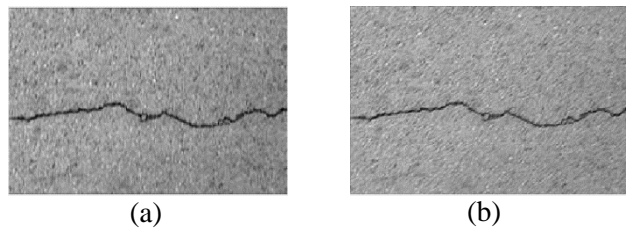
Proses normalisasi dilakukan untuk mengetahui bahwa sistem telah merubah citra *grayscale* menjadi citra yang telah dinormalisasi. Dilakukan percobaan menggunakan parameter yang berbeda. Dilakukan percobaan dengan $M_0 = 100$ dan $V_0 = 100$ [3].

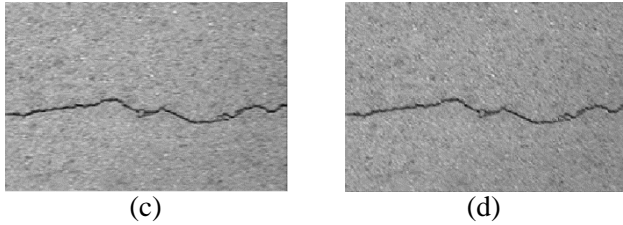


Gambar 5.2. Citra pada tahap *preprocessing* (a) Citra input dengan ukuran 320x480. (b) Citra hasil *scalling* dengan ukuran 160x240. (c) Citra *grayscale*. (d) Citra ternormalisasi

5.3 Pengujian Tahap Segmentasi Citra

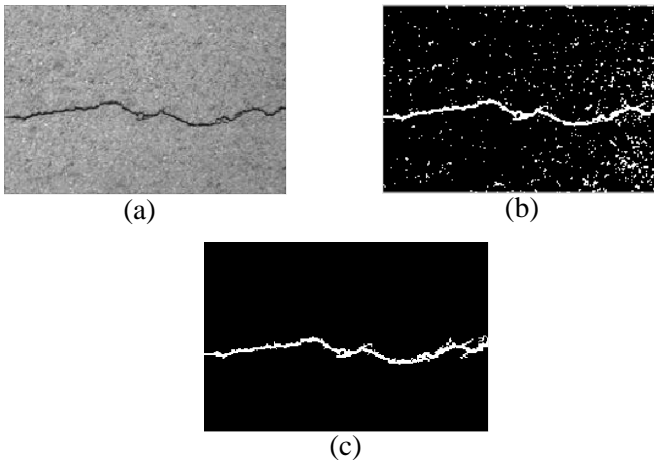
Pada tahap ini citra retakan jalan yang telah dinormalisasi kemudian dikonvolusi dengan *filter Gabor*. Pada Tugas Akhir ini digunakan empat orientasi berbeda, yaitu 0, 45, 90, dan 135 sehingga dihasilkan empat citra retakan terfilter.





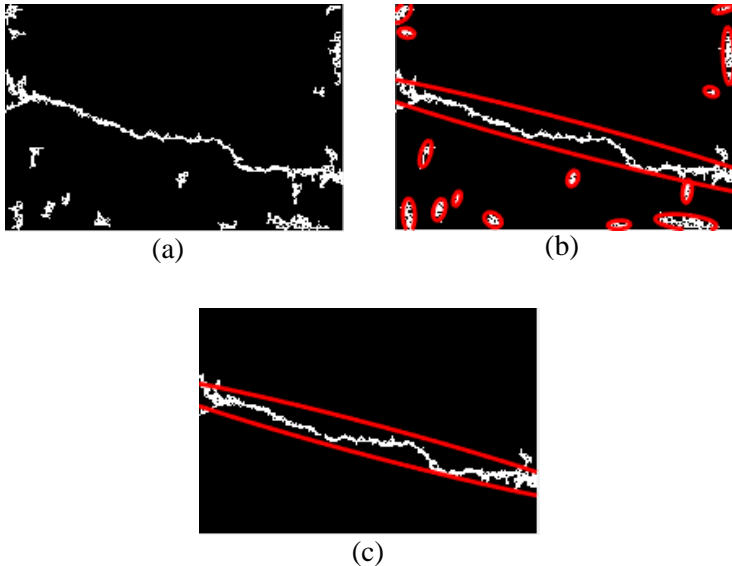
Gambar 5.3. Citra hasil filterisasi dengan orientasi berbeda.
 (a) Orientasi 0. (b) Orientasi 45. (c) Orientasi 90. (d) Orientasi 135.

Dari keempat citra tersebut dilakukan proses penjumlahan magnitude dan proses normalisasi. Output yang dihasilkan pada proses ini berupa sebuah citra retakan terfilter. Citra retakan yang telah terfilter akan diubah menjadi citra biner.



Gambar 5.4. Proses perubahan citra terfilter menjadi citra biner. (a) Citra terfilter. (b) Citra terfilter yang telah dikonversi ke citra biner. (c) Citra hasil morfologi.

Pada Gambar 5.4.(b) masih terdapat *noise* pada citra biner yang dihasilkan. Oleh karena itu, dilakukan proses morfologi sehingga dihasilkan citra seperti pada Gambar 5.4(c).

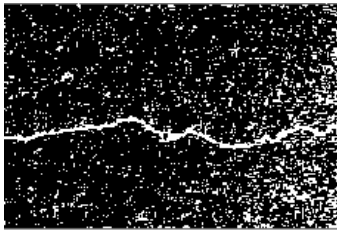


Gambar 5.5. Proses *labeling* dan seleksi objek retakan. (a) Citra biner hasil morfologi. (b) Citra hasil proses *labeling*. (c) Objek retakan terpilih.

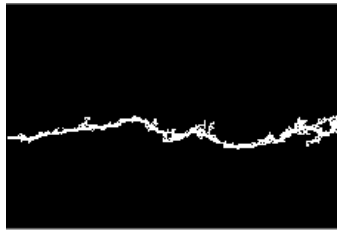
Pada jenis retakan yang lain, citra biner yang telah melalui proses morfologi masih memiliki *noise*. Pada citra biner tersebut terdapat beberapa objek selain retakan seperti pada Gambar 5.5.(a). Proses *labeling* dilakukan untuk menandai masing-masing objek pada citra biner. Objek-objek yang memiliki nilai *major axis length* kurang dari *threshold* akan dihapus atau dihilangkan.

Pada Tugas Akhir ini nilai *threshold* yang digunakan untuk proses seleksi objek adalah 100. Sehingga objek-objek yang memiliki nilai *major axis length* kurang dari 100 piksel, maka objek tersebut akan dihilangkan. Hasil dari proses seleksi ini ditunjukkan pada Gambar 5.5.(c)

Proses uji coba dilakukan pada 15 data citra retakan dengan nilai parameter $\lambda = 2, 3, 4$ dan $bandwidth(b) = 2, 3, 4, 5$ sehingga diperoleh hasil seperti pada Gambar 5.6, 5.7 dan 5.8.

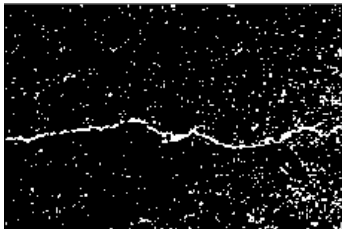


(a)

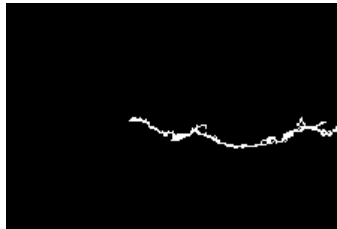


(b)

Gambar 5.6. (a) Citra biner dan (b) Citra hasil segmentasi dengan nilai $\lambda = 2$ dan $bandwidth = 2$

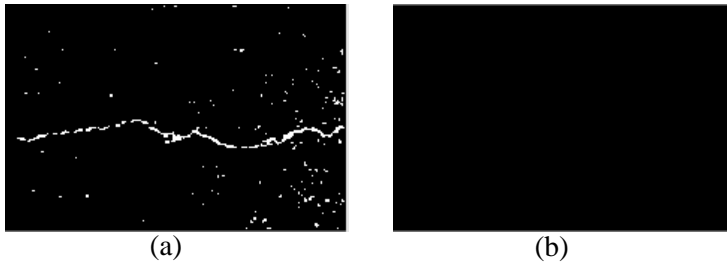


(a)



(b)

Gambar 5.7. (a) Citra biner dan (b) Citra hasil segmentasi dengan nilai $\lambda = 3$ dan $bandwidth = 2$



Gambar 5.8. (a) Citra biner dan (b) Citra hasil segmentasi dengan nilai $\lambda = 3$ dan $bandwidth = 2$

Berdasarkan contoh citra hasil segmentasi, diberikan penilaian pada setiap citra hasil segmentasi dengan nilai λ dan $bandwidth$ yang berbeda.

Citra hasil segmentasi pada Gambar 5.6 dinilai benar karena dapat memunculkan citra retakan sesuai dengan citra input. Sedangkan untuk citra hasil segmentasi pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 dinilai salah karena hanya menampilkan sebagian retakan dan tidak dapat menampilkan retakan sesuai citra input. Proses penilaian dilakukan berdasarkan pengamatan penulis. Nilai benar disimbolkan dengan 'B' dan nilai salah disimbolkan dengan 'S'. Hasil segmentasi dari 15 citra input dengan nilai λ dan $bandwidth$ yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Hasil Segmentasi Citra dengan Nilai Parameter Berbeda


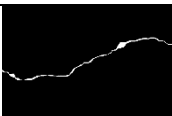
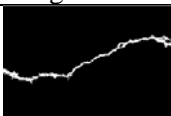


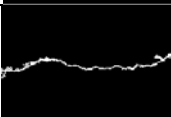
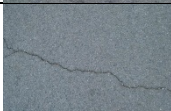


No.	Nama File	$\lambda = 2$				$\lambda = 3$				$\lambda = 4$			
		2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5
1.	I018	B	B	B	B	B	B	B	B	S	S	S	S
2.	I030	S	B	B	B	S	S	S	S	S	S	S	S
3.	I069	B	B	B	B	B	S	S	S	S	S	S	S
4.	I094	S	B	S	S	S	B	B	B	S	S	S	S
5.	I095	B	B	B	B	S	S	S	S	S	S	S	S




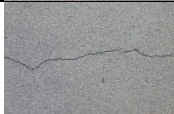







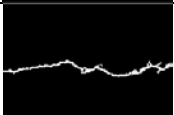







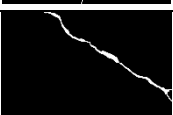



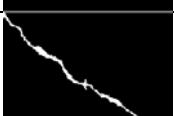






6.	I096	S	B	B	S	S	S	S	S	S	S	S	S
7.	I098	B	B	B	B	S	B	B	B	S	B	B	B
8.	I107	B	B	B	B	S	S	S	S	S	S	S	S
9.	I121	B	B	B	B	S	S	S	B	S	S	S	S
10.	I129	S	B	B	B	B	B	B	B	B	S	S	S
11.	I132	S	B	B	B	S	S	B	B	B	S	S	S
12.	I134	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
13.	I137	B	B	B	B	S	B	B	B	B	B	B	B
14.	I146	B	B	B	B	B	S	S	S	S	S	S	S
15.	I148	B	B	B	B	B	B	B	B	B	S	S	S

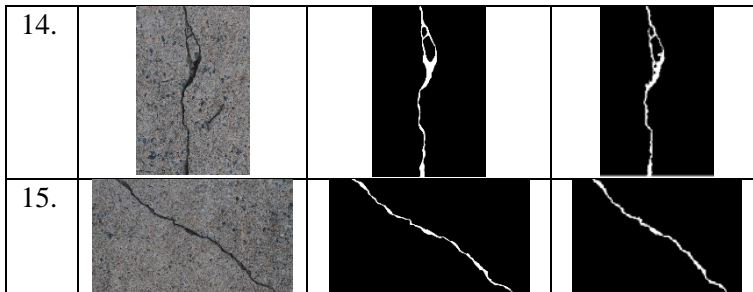
Data hasil segmentasi pada Tabel 5.1 menunjukkan bahwa nilai parameter yang paling banyak memiliki nilai ‘B’ adalah $\lambda = 2$ dan $bandwidth(b) = 3$. Sehingga nilai parameter tersebut merupakan nilai yang paling optimal untuk segmentasi citra.

Hasil segmentasi dari 15 citra input menggunakan nilai parameter $\lambda = 2$ dan $bandwidth(b) = 3$ akan ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Hasil Segmentasi dengan Nilai $\lambda = 2$ dan $bandwidth(b) = 3$.

No.	Citra Input		Citra Groundtruth		Citra Hasil Segmentasi	
1.						
2.						
3.						

4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
11.						
12.						
13.						



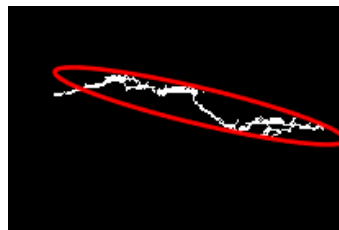
Beberapa hasil pengujian pada nilai parameter λ (panjang gelombang) menunjukkan bahwa besarnya nilai λ mempengaruhi proses pengurangan *noise*. Semakin besar nilai λ maka semakin banyak *noise* yang berkurang. Tetapi pada jenis citra retakan yang tipis semakin besar nilai λ maka semakin sedikit bagian dari retakan yang tersegmentasi dengan baik.

Hasil pengujian pada nilai parameter *bandwidth* menunjukkan bahwa semakin besar nilai *bandwidth* maka citra segmentasi retakan yang didapatkan semakin jelas.

Pada 15 data citra retakan yang diperoleh dari dataset, memungkinkan bahwa citra retakan yang digunakan hanya merupakan sebagian dari retakan sesungguhnya. Sehingga dilakukan proses uji coba pada citra retakan utuh seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9



(a)

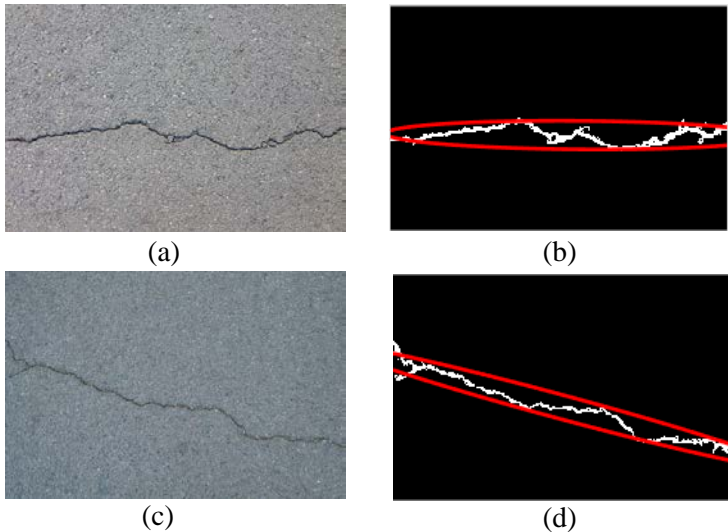


(b)

Gambar 5.9. Contoh Hasil Segmentasi pada Citra Retakan Utuh. (a) Citra asli (b) Citra Hasil Segmentasi Area Retakan

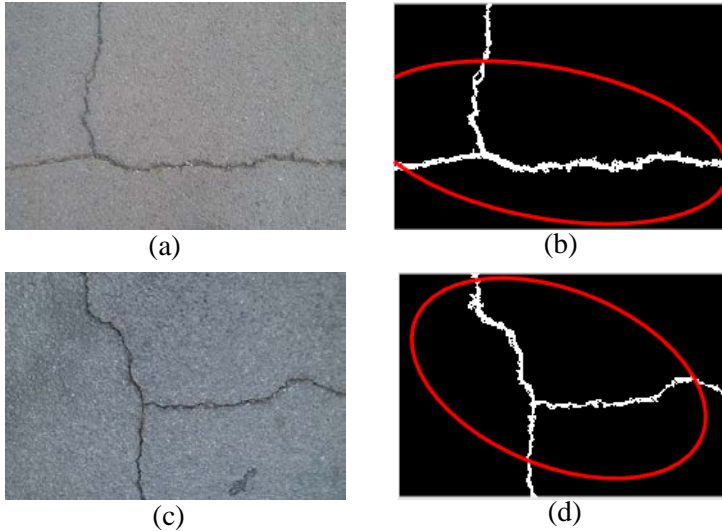
5.4 Pengujian Pengukuran Dimensi Retakan

Proses pengujian pengukuran dimensi retakan dilakukan dengan membandingkan pengukuran citra *groundtruth* dan pengukuran pada citra hasil segmentasi. Proses pengukuran pada citra *groundtruth* sama dengan proses pengukuran pada citra hasil segmentasi.



Gambar 5.10. Contoh Pengukuran dengan Pendekatan Elips. (a) dan (c) adalah Citra Asli, (b) dan (d) Citra Area Retakan.

Gambar 5.10. (b) dan (d) menunjukkan bahwa area retakan telah ditandai menggunakan bentuk elips. Kemudian dari area berbentuk elips tersebut akan dihitung nilai *major axis length* sebagai panjang area retakan dan nilai *minor axis length* sebagai lebar area retakan.



Gambar 5.11. Contoh Pengukuran dengan Pendekatan Elips pada Jenis Retakan Blok. (a) dan (c) adalah Citra Asli, (b) dan (d) Citra Area Retakan.

Gambar 5.11. (b) dan (d) menunjukkan bahwa bentuk elips tidak menandai seluruh area retakan. Masih terdapat bagian retakan yang tidak termasuk pada bagian elips. Sehingga, pendekatan bentuk elips hanya sesuai untuk jenis retakan *longitudinal*, *transversal*, dan *diagonal*. Selain itu, pada ketiga jenis retakan tersebut, informasi yang diperlukan adalah panjang retakan, sehingga panjang dari elips dapat mewakili panjang area retakan.

Tingkat akurasi pengukuran pada objek retakan dapat diketahui melalui rata-rata nilai *error* pada kedua hasil pengukuran. Nilai *error* dihitung menggunakan persamaan 5.1.

$$\text{persentase error} = \frac{|\text{ukuran sebenarnya} - \text{ukuran hampiran}|}{\text{ukuran sebenarnya}} \times 100\% \quad (5.1)$$

Hasil pengukuran panjang area retakan pada citra *groundtruth* dan citra hasil segmentasi dinyatakan dalam satuan piksel ditunjukkan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Hasil Pengukuran Panjang Area Retakan

No.	Nama File	Hasil Pengukuran Panjang		Persentase Error (%)
		Citra <i>Groundtruth</i> (piksel)	Citra Segmentasi (piksel)	
1.	I018	285,4493	320,897	12,418
2.	I030	269,5452	317,477	17,782
3.	I069	307,0754	331,401	7,922
4.	I094	278,2499	295,925	6,352
5.	I095	280,0772	297,176	6,105
6.	I096	268,2596	276,2090	2,963
7.	I098	269,5448	274,852	1,969
8.	I107	277,6816	280,256	0,927
9.	I121	182,3728	179,971	1,317
10.	I129	248,1919	247,345	0,341
11.	I132	296,5935	295,132	0,493
12.	I134	139,4744	132,54	4,972
13.	I137	184,4074	180,142	2,313
14.	I146	264,8899	250,664	5,370
15.	I148	286,7028	284,138	0,895

Berdasarkan data pengukuran panjang area retakan pada Tabel 5.3. diperoleh rata-rata nilai error relatif yaitu sebesar 4,809%. Sehingga diperoleh tingkat keakuratan pengukuran panjang sebesar 95,191%.

Hasil pengukuran lebar area retakan pada citra *groundtruth* dan citra hasil segmentasi dinyatakan dalam satuan piksel dan ditunjukkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Hasil Pengukuran Lebar Area Retakan

No.	Nama File	Hasil Pengukuran Lebar		Persentase Error (%)
		Citra <i>Groundtruth</i> (piksel)	Citra Segmentasi (piksel)	
1.	I018	28,3816	29,7469	4,811
2.	I030	20,4253	24,6642	20,753
3.	I069	17,5796	16,9032	3,848
4.	I094	11,9882	13,2472	10,502
5.	I095	20,4694	21,7738	6,372
6.	I096	15,9372	20,3558	27,725
7.	I098	19,4451	20,3653	4,732
8.	I107	15,9647	27,3375	71,237
9.	I121	19,7363	18,837	4,557
10.	I129	13,8899	13,2257	4,782
11.	I132	18,9017	18,2859	3,258
12.	I134	12,0114	11,4339	4,808
13.	I137	12,7879	12,4306	2,794
14.	I146	25,4601	25,6293	0,665
15.	I148	17,2621	15,5125	10,135

Berdasarkan data pengukuran lebar objek retakan pada Tabel 5.3 diperoleh rata-rata nilai error relatif yaitu sebesar 12,065%. Sehingga diperoleh tingkat keakuratan pengukuran lebar sebesar 87,935%.

BAB VI PENUTUP

Bab ini berisi tentang beberapa kesimpulan berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan. Selain itu, pada bab ini juga dimasukkan beberapa saran yang dapat digunakan jika penelitian ini ingin dikembangkan.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis terhadap hasil pengujian program, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Tugas akhir ini berhasil mengimplementasikan pengukuran dimensi retakan pada citra jalan menggunakan filter *Gabor*. Proses yang dilakukan meliputi tahap *preprocessing* yang terdiri dari proses *scaling*, *grayscale*, dan proses normalisasi. Kemudian dilanjutkan dengan segmentasi citra menggunakan filter *Gabor* dengan 4 orientasi berbeda. Proses identifikasi objek retakan dilakukan melalui proses seleksi atau pemilihan menggunakan pendekatan elips. Kemudian dilakukan pengukuran dimensi berdasarkan area yang melingkupi objek retakan.
2. Hasil pengujian pada 15 citra retakan menunjukkan bahwa nilai parameter filter *Gabor* yang dapat menghasilkan citra segmentasi retakan secara keseluruhan adalah $\lambda = 2$ dan *bandwidth* = 3..
3. Persentase tingkat akurasi pada proses pengukuran dimensi retakan adalah 95,191% pada pengukuran panjang area retakan, dan 87,935% pada pengukuran lebar area retakan.

6.2 Saran

Dengan melihat hasil yang dicapai pada penelitian ini terdapat beberapa hal yang penulis sarankan untuk dikembangkan yaitu:

1. Mengembangkan proses segmentasi pada citra yang memiliki lebih dari satu objek retakan, karena pada penelitian ini digunakan citra dengan satu objek retakan saja.
2. Mengembangkan metode pendekatan lain untuk pemilihan objek dan pengukuran dimensi retakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mohan, A., Poobal, S. (2017). "Crack Detection using Image Processing: A Critical Review and Analysis". **Alexandria Engineering Journal**
- [2] Lukman Al Hakim, M. (2015). "Studi Evaluasi Pelaksanaan Kebijakan Pemeliharaan Jalan di Kota Surabaya". **Kebijakan dan Manajemen Publik, Volume 3, Nomor 1, Januari-April 2015**
- [3] Khairul Fahmi, M. (2013). "Pendeteksi Cacat pada Selongsong Peluru Berbasis Citra menggunakan Gabor Filter". **Jurnal Sains dan Seni POMITS Vol.2, No.1**
- [4] Salman, M., Mathavan, S., Kamal, K., Rahman, M. (2013). "Pavement crack detection using the gabor filter". **Proceedings of 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation System**, Hal.2039-2044.
- [5] Riyadi, S., Azra, R. A., Syahputra, R., Hariadi, T. K. (2014). "Deteksi Retak Permukaan Jalan Raya Berbasis Pengolahan Citra dengan Menggunakan Kombinasi Teknik Thresholding, Median Filter, dan Morphological Closing'. **Simposium Nasional Teknologi Terapan**
- [6] Weisstein, Eric W. "L2-Norm." From MathWorld -- A Wolfram Web Resource. url : <http://mathworld.wolfram.com/L2-Norm.html>. Diakses pada 25 Juni 2018
- [7] Kurnianto, Danny. (2013). "Empat Tipe Dasar Citra Digital". url : <https://catatanpeneliti.wordpress.com> diakses pada 23 Mei 2018

- [8] Gonzales, R.C. dan Woods, Richard E.(2002). "Digital Image Processing". **New Jersey. Prentice Hall**
- [9] Subirats, P., et al. (2006). "Automation of Pavement Surface Crack Detection using the Continuous Wavelet Transform". **IEEE International Conference on. Oct. 2006: Atlanta, GA**
- [10] Ouma, Y. O., Hahn, M. (2016). "Wavelet-morphology Based Detection of incipient linear cracks in asphalt-pavements from RGB camera imagery and classification using circular Random Transform". **Advance Engineering Informatics 30 (2016), Hal.481-499.**
- [11] Shi, Y., Cui, L., Qi, Zhiquan, Meng, F., dan Chen, Z. (2016). "Automatic Road Crack Detection using Random Structured Forest". **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems Vol. 17, No. 12, Hal.3434-3445.**
- [12] Shi, Y., Cui, L., Qi, Zhiquan, Meng, F., dan Chen, Z. (2015). "Pavement Distress Detection using Random Decision Forest". **International Conference on Data Science, Hal.3434-3445.**
- [13] Daugman, J.G. (1985). "Uncertainty relations for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters". **Journal of the Optical Society of America A, Vol. 2, Hal. 1160-1169.**
- [14] Petkov, N. (1995). "Biologically motivated computationally intensive approaches to image pattern recognition". **Future Generation Computer Systems, Vol. 11, No.4-5, Hal.451-465.**

- [15] Petkov, N. dan Kruizinga, P. (1997). "Computational models of visual neurons specialised in the detection of periodic and aperiodic oriented visual stimuli: bar and grating cells". **Biological Cybernetics**, Vol. 76, No. 2, Hal. 83-96.
- [16] Kruizinga, P. dan Petkov, N. (1999). "Non-linear operator for oriented texture". **IEEE Trans. on Image Processing**, Vol. 8, No. 10, Hal.1395-1407.
- [17] Grigorescu, S.E., Petkov, N. dan Kruizinga, P. (2002). "Comparison of texture features based on Gabor filters". **IEEE Trans. on Image Processing**, Vol. 11, No.10, Hal.1160-1167.
- [18] Petkov, N. dan Westenberg, M. A. (2003). "Suppression of contour perception by band-limited noise and its relation to non-classical receptive field inhibition". **Biological Cybernetics**, Vol. 88, Hal.236-246.
- [19] Grigorescu, C., Petkov, N. dan Westenberg, M. A. (2003). "Contour detection based on nonclassical receptive field inhibition" **IEEE Trans. on Image Processing**, Vol. 12, No. 7, Hal.729-739.
- [20] Bang Yeon, L., Jin-Keun, K., Yun Yong, K., Seong-Tae, Y. (2007). "A Technique based on Image Processing for Measuring Cracks in the Surface of Concrete Structure". **SMiRT 19, Toronto**
- [21] Tikhe, C. dan Chitode, J.S. (2014). "Metal Surface Inspection for Defect Detection and Clasification using Gabor Filter". **International Journal of Inovative Research in Science, Engineering and Technology**, Vol. 3, Issue 6.

- [22] Doo-chul, C., Yong-Ju, J. Jong Pil, Y, Sung Wook, Y. dan Sang Woo, K. (2012). “An Algorithm for Detecting Seam Cracks in Steel Plates”. **International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering**, Vol. 6, No. 12.

LAMPIRAN

1. Kode Program Akuisisi Data

```
global data
[namefile,pathname]=uigetfile({'*.bmp;*.tif;*.tiff;*.jpg;*.jpeg;*.gif','IMAGE
Files(*.bmp,*.tif,*.tiff,*.jpg,*.jpeg,*.gif)'
},'Choose an Image');
data =
imread(strcat(pathname,namefile));
```

2. Kode Program *Preprocessing*

```
if (size(data,1) > size(data,2))
    data = imresize(data, [240 160]);
else data = imresize(data, [160 240]);
end
image_in = rgb2gray(data);
nor = normalisasi(image_in);
```

3. Kode Program Fungsi Normalisasi

```
function [ nor ] = normalisasi( I )
jml = sum(sum(I));
ukuran = (size(I,1)*size(I,2));
rata = jml/ukuran;
var = 0;

for x=1:size(I,1)
    for y=1:size(I,2)
        var = var+((double(I(x,y) -
double(rata))^2)/(ukuran-1));
    end
end

nor = uint8(zeros(size(I)));

for k = 1:size(I,1)
    for j = 1:size(I,2)
        if I(k,j)<rata
```

LAMPIRAN (LANJUTAN)

```

                nor (k,j) = uint8(100-
double(sqrt((100*(double(I(k,j))-
double(rata))^2)/var)));
            end
            if I(k,j)>rata
                nor (k,j) =
uint8(100+double(sqrt((100*(double(I(k,j))-
double(rata))^2)/var)));
            end
        end
    end

end

end

```

4. Kode Program Pembentukan Filter *Gabor*

```

function [ gb ] = gabor_fn( bw, gamma, psi,
lambda, theta )

sigma =
lambda/pi*sqrt(log(2)/2)*(2^bw+1)/(2^bw-1);
sigma_x = sigma;
sigma_y = sigma/gamma;

%Ukuran kernel
sz=fix(8*max(sigma_y,sigma_x));
if mod(sz,2)==0, sz=sz+1;end

[x y]=meshgrid(-fix(sz/2):fix(sz/2),-
fix(sz/2):fix(sz/2));
x_theta=x*cos(theta)+y*sin(theta);
y_theta=-x*sin(theta)+y*cos(theta);
gb=exp(-
0.5*(x_theta.^2/sigma_x^2+y_theta.^2/sigma_y^
2)).*cos(2*pi/lambda*x_theta+psi);

end

```

LAMPIRAN (LANJUTAN)

5. Kode Program Proses Filterisasi

```

lambda = get(handles.edit_lambda, 'string');
lambda = str2num(lambda);
theta = 0;
psi = [0 pi/2];
gamma = 0.5;
bw =
get(handles.edit_bandwidth, 'string');
bw = str2num(bw);
N = 4;

img_in = im2double(image);
%img_in(:, :, 2:3) = []; % discard redundant
% channels, it's gray anyway
img_out = zeros(size(img_in,1),
size(img_in,2), N);
for n=1:N
    gb =
gabor_fn(bw, gamma, psi(1), lambda, theta)...
    + 1i *
gabor_fn(bw, gamma, psi(2), lambda, theta);
    % gb is the n-th gabor filter
    img_out(:, :, n) = conv2(img_in, gb,
'same');
    % filter output to the n-th channel
    theta = theta + pi/N;
    % next orientation
end

img_out_displ = sum(abs(img_out).^2, 3).^0.5;
% default superposition method, L2-norm
img_out_disp =
img_out_displ./max(img_out_displ(:));
% normalize

```

LAMPIRAN (LANJUTAN)

6. Kode Program Proses Morfologi Citra dan Pemilihan Objek Retakan

```

BW2 = im2bw(img_out_disp);
invert = ~BW2;

invert = bwareaopen(invert, 20);
invert = bwmorph(invert, 'bridge');

[L, num] = bwlabel(invert, 8);
s = regionprops(L, 'Area', 'Orientation',
'MajorAxisLength', ...
'MinorAxisLength', 'Eccentricity',
'Centroid');

removed = 0;
%Remove the noisy regions
for i = 1:num
    dd = s(i).MajorAxisLength;
    if (dd < 100)
        L(L==i)=0;
        removed = removed + 1;
        num = num-1;
    end
end
end

```

7. Kode Program Pengukuran dan Visualisasi Elips pada Area Retakan

```

[L, num] = bwlabel(L, 8);
s = regionprops(L, 'Area', 'Orientation',
'MajorAxisLength', ...
'MinorAxisLength', 'Eccentricity',
'Centroid');

imshow(L)
hold on
phi = linspace(0,2*pi,50);

```

LAMPIRAN (LANJUTAN)






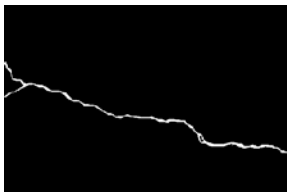

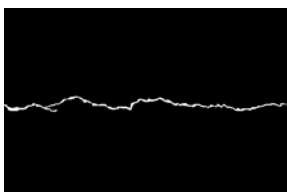
```




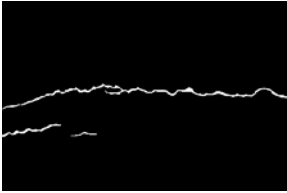



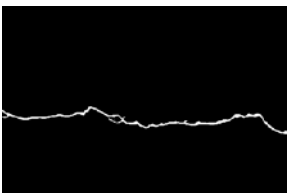
cosphi = cos(phi);
sinphi = sin(phi);
for k = 1:length(s)
    xbar = s(k).Centroid(1);
    ybar = s(k).Centroid(2);
    a = s(k).MajorAxisLength/2;
    b = s(k).MinorAxisLength/2;
    theta = pi*s(k).Orientation/180;
    R = [ cos(theta)    sin(theta)
          -sin(theta)    cos(theta)];
    xy = [a*cosphi; b*sinphi];
    xy = R*xy;
    x = xy(1,:) + xbar;
    y = xy(2,:) + ybar;
    plot(x,y,'r','LineWidth',2);
end
hold off


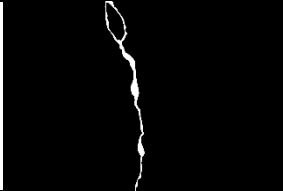
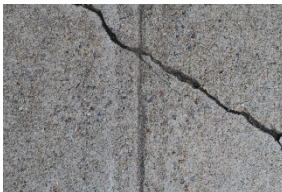







```


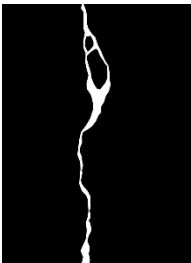

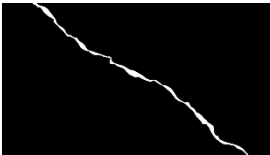

LAMPIRAN (LANJUTAN)

8. Data Citra Retakan dan Citra *Groundtruth*

No.	Nama File	Citra Asli	Citra Groundtruth
1.	I018		
2.	I030		
3.	I069		
4.	I094		

5.	I095		
6.	I096		
7.	I098		
8.	I107		

9.	I121		
10.	I129		
11.	I132		
12.	I134		
13.	I137		

14.	I146		
15.	I148		

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Juli Nur Anita dan dilahirkan di Kediri, 29 Juli 1996 dari pasangan Saepan dan Srikanah. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis bertempat tinggal di Desa Tawangsari Barat, Kec. Taman, Kab. Sidoarjo. Penulis telah menempuh pendidikan formal mulai dari TK Dharma Wanita Persatuan Tawangsari, SDN Tawangsari II, SMPN 1 Taman, dan SMAN 1 Taman. Setelah lulus dari SMA/MA,

penulis melanjutkan studinya di S1 Departemen Matematika FMKSD ITS Surabaya tahun 2014. Selama perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi di KM ITS, khususnya di Departemen Matematika ITS dan BEM FMIPA ITS. Penulis pernah menjadi Staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HIMATIKA ITS 2015/2016 dan menjadi Sekretaris Departemen *Student Resource Development* HIMATIKA ITS 2016/2017. Penulis juga pernah menjadi Staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa BEM FMIPA ITS 2015/2016 dan menjadi Kepala Divisi Pelatihan Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa BEM FMIPA ITS 2016/2017. Segala saran dan kritik yang membangun untuk Tugas Akhir ini serta bagi yang ingin berdiskusi lebih lanjut dengan penulis dapat menghubungi via email dengan alamat julinuranita7@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”